

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

**Pojízdný manipulátor se sedačkou pro vkládání
pacientů do vany**

**A Mobile Manipulator with a Seat for Inserting of
Patients into the Bath**

Student:

Bc. Benedikt Rolný

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Benedikt Rolný

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2301T013 Robotika

Téma:

Pojízdný manipulátor se sedačkou pro vkládání pacientů do vany
A Mobile Manipulator with a Seat for Inserting of Patients into the Bath

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te analýzu současných pojízdných manipulátorů pro manipulaci s pacienty s omezenou pohyblivostí. Na základě této analýzy stanovte vhodné parametry mobilního manipulátoru se sedačkou pro vložení pacienta do vany.
2. Navrhněte varianty koncepčního řešení mobilního manipulátoru včetně koncepčního návrhu pohonného systému a ovládacího panelu.
3. Vybrané koncepční řešení rozpracujte do úrovně detailního 3D modelu a podkladů pro výrobu.
4. Práci doplňte podrobnou technickou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Borden, C.M. *PHAMA - Patient Handling and Movement Assessments: A White Paper*. Dallas (USA): The Facility Guidelines Institute, 2010, 147 pp.
2. Skařupa, J. – Mostýn, V. *Teorie průmyslových robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2000. 146 s. ISBN 80-88922-35-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr.Ing. Vladimír Mostýn**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

prof. Dr.Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21. 5. 2012

.....

Bc. Benedikt Rolný

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21. 5. 2012

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Benedikt Rolný

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Polní, 285

747 24 Chuchelná

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ROLNÝ B.: *Pojízdný manipulátor se sedačkou pro vkládání pacientů do vany: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2012, 91 s. Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn.

Diplomová práce řeší problém s přemísťováním imobilních pacientů z invalidních vozíků, či jiných zařízení do vany. Na začátku je zmapován trh s obdobnými manipulačními jednotkami, jejich konstrukce, pohony atd. Na základě poznatků z průzkumu trhu jsou pro konstrukci manipulátoru vybrány varianty řešení, které splňují zadané požadavky vyplývající z pracovního prostředí a objektu manipulace. Varianty jsou vymodelovány v prostředí programu Pro/ENGINEER. Na základě hodnotové analýzy je vybrána optimální varianta řešení. Zvolená varianta je následně podrobně konstrukčně zpracována, popsána, vymodelována a doložena přílohami.

ANNOTATION OF THESIS

ROLNÝ B.: *A Mobile Manipulator with a Seat for Inserting of Patients into the Bath: Master Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2012, 91 p. Thesis head: prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn.

The thesis solves the problem of moving immobile patients from wheelchairs or other devices into a bathtub. In the beginning of thesis there is market research of similar transportation units including their construction, driving mechanism etc. On the basis of findings from the market research there were chosen alternative solutions for the construction of the manipulator. The solutions meet the specified requirements resulting from a work environment and object of a manipulation. The options are modeled in Pro/ENGINEER program environment. On the basis of the value analysis is selected an optimal solution. The selected solution is constructionally processed in detail, described, modeled and supported by attachments afterwards.

Obsah diplomové práce

Seznam použitých značek a symbolů	9
0 Úvod	11
1 Analýza současného trhu s pojízdnými manipulátory	12
1.1 Zvedák KG HEKTOR.....	12
1.2 Zvedák Liko Viking S	13
1.3 Zvedák Oxford Stature	14
1.4 Zvedák Topaz – Avanti.....	15
1.5 Portálový zvedák	16
1.6 Zhodnocení kapitoly	17
2 Průzkum trhu s vanami pro ústavní péči	18
2.1 Vana ALFA 50.....	18
2.2 Vana 125 T.....	18
2.3 Vana MURNAU	19
2.4 Vana Henley	20
2.5 Vana Sanus	21
2.6 Možné situace vkládání pacientů do vany	21
2.6.1 Vana kolmo na stěnu bez patek	22
2.6.2 Vana podélně se stěnou s patkami	22
2.6.3 Vana kolmo na stěnu s patkami.....	23
2.6.4 Vana podélně se stěnou bez patek	24
2.7 Zhodnocení kapitoly	25
3 Požadavky kladené na zařízení.....	26
4 Varianty řešení pojízdného manipulátoru	27
4.1 Varianta A.....	27
4.2 Varianta B.....	31
4.3 Varianta C.....	33
4.4 Varianta D.....	35
5 Výběr optimální varianty na základě hodnotové analýzy	37

5.1	Bodovací stupnice kritérií	37
5.2	Hodnotící kritéria variant	37
5.3	Váha významnosti kritérií	38
5.4	Porovnání v trojúhelníku páru	38
5.5	Určení pořadí variant	41
5.6	Zhodnocení kapitoly	43
6	Konstrukční řešení vybrané varianty manipulátoru	44
6.1	Podvozek	45
6.1.1	Pevný rám	45
6.1.2	Ližiny.....	46
6.1.3	Mechanismus roztažení ližin.....	47
6.2	Uchopovací mechanismus.....	53
6.3	Manipulační nadstavba	55
6.3.1	Spodní rameno	56
6.3.2	Horní rameno	58
6.4	Pevná sedačka	60
6.5	Návrh pohonné a řídicí elektroniky.....	64
6.5.1	Dynamická analýza.....	64
6.5.2	Ruční ověření výsledků dynamické analýzy	72
6.5.3	Volba aktuátorů	74
6.5.4	Volba akumulátoru	76
6.5.5	Určení počtu cyklů	77
6.5.6	Volba řídicí jednotky, nabíječky a ovladače	79
6.5.7	Schéma zapojení navrženého systému	82
7	Ekonomické zhodnocení navrženého manipulátoru	83
8	Závěr.....	85
9	Seznam použité literatury	88
10	Seznam příloh.....	91

Seznam použitých značek a symbolů

značka	popis	jednotka
$\sum F_{iy}$	suma sil v ose y	[N]
A	místo působení reakce R_A	[mm]
a	vzdálenost působení síly F	[mm]
B	místo působení reakce R_B	[mm]
b	vzdálenost působení reakce R_A	[mm]
C	místo působení reakce R_C	[mm]
C	počet cyklů	[-]
c	vzdálenost působení síly F_{OM}	[mm]
D	místo působení reakce R_D	[mm]
d	vzdálenost působení síly F_M	[mm]
e	vzdálenost působení reakce R_D	[mm]
F	síla od pevné sedačky a objektu manipulace	[N]
f	vzdálenost působení síly F_V	[mm]
F_K	síla na jedné kladce	[N]
F_M	síla od konstrukce manipulátoru	[N]
F_{OM}	síla od objektu manipulace	[N]
F_T	síla táhla	[N]
F_V	síla valivého tření kladky	[N]
g	gravitační zrychlení	[m/s^2]
h	vzdálenost působení síly F_T	[mm]
I_{LA32}	průměrný odběr proudu aktuátoru LA32	[A]
I_{LA36}	průměrný odběr proudu aktuátoru LA36	[A]
K	kapacita akumulátoru	[Ah]
l	délka nášlapného ramene	[mm]
M_A	momentová podmínka v místě A	[-]
M_D	momentová podmínka v místě D	[-]
M_E	momentová podmínka v místě E	[-]
m_M	hmotnost konstrukce manipulátoru	[kg]
m_{OM}	hmotnost objektu manipulace	[kg]

m_{PS}	hmotnost pevné sedačky	[kg]
M_R	krouticí moment roztažení ližin	[N*mm]
O_C	celkový odběr proudů aktuátorů	[Ah]
O_{LA32}	odběr proudu aktuátoru LA32	[Ah]
O_{LA36}	odběr proudu aktuátoru LA36	[Ah]
Q	síla od spojitého zatížení horního ramene	[mm]
q	váha významnosti kritéria	[-]
R	poloměr kladky	[mm]
R_A	síla v aktuátoru LA32	[N]
R_{AX}	síla aktuátoru LA32 v ose x	[N]
R_{AY}	síla aktuátoru LA32 v ose y	[N]
R_B	síla v kloubu ramen	[N]
R_{BX}	síla v kloubu ramen v ose x	[N]
R_{BY}	síla v kloubu ramen v ose y	[N]
R_C	reakce v místě C	[N]
R_D	reakce v místě D	[N]
r	délka ramene hřídele	[mm]
t	doba nabíjení akumulátoru	[h]
t_{LA32}	doba provozu aktuátoru LA32	[h]
t_{LA36}	doba provozu aktuátoru LA36	[h]
v	počet voleb kritéria	[-]
X	parametr rovnice regrese	[mm]
x	vzdálenost působení síly Q	[mm]
y_{LA32}	rovnice regrese přímky proudu aktuátoru LA32	[-]
y_{LA36}	rovnice regrese proudu přímky aktuátoru LA36	[-]
α	úhel sklonu síly F a Q	[°]
β	úhel sklonu reakce R_A	[°]
γ	úhel sklonu reakce R_B	[°]
ξ	součinitel valivého tření	[mm]

0 Úvod

Počet obyvatel v České republice připoutaných k invalidnímu vozíku k roku 2007 byl Ministerstvem práce a sociálních věcí odhadnut na 30 tisíc. Přitom každý rok je předpokládán nárůst o dalších 300 vozíčkářů.[1] Tyto čísla mluví pouze o počtu vozíčkářů připoutaných k invalidnímu vozíku trvale. Nesmíme však opomenout pacienty s dočasným imobilním postižením. Můžeme tedy předpokládat, že skutečný počet je o něco vyšší. Přepočteme-li tyto čísla na počet obyvatel Evropy, dojdeme pouze zde k číslům se sedmi ciframi, což je nepřehlédnutelná část populace. A proto je třeba se touto problematikou zabývat, ať už z pohledu humánního nebo komerčního.

Imobilní lidé jsou odkázáni na pomoc zdravých lidí, ať už v domácím prostředí nebo ve speciálním zařízení, pro ně určených. Tito lidé, starající se o imobilní pacienty vykonávají velmi namáhavou fyzickou i psychickou práci. Ta nastává při přemísťování nechodících pacientů z jednoho místa na druhé. Může se jednat o přemístění pacienta do místa zdravotní procedury, nebo pouze o zajištění základních hygienických potřeb jako je mytí ve vaně. Při této situaci je nutné dostat pacienta přes okraj vany, což by bylo pro ošetřovatele velmi namáhavé a složité, zvláště když v rehabilitačních ústavech tvoří personál zejména ženy. Pro pacienty může být tato činnost zase nepříjemná, bolestivá a mnohdy i nedůstojná. Proto, a hlavně v poslední době s rozvojem techniky, se firmy zaměřují na tuto část trhu. Firmy konstruují různé zvedáky a manipulátory pro nepohyblivé lidi. Tyto zařízení usnadňují čas a práci ošetřovatelům, ale také zvyšují pohodlí pacientů.

Úkolem této diplomové práce je navrhnout konstrukci pojízdného manipulátoru s pevnou sedačkou pro vkládání pacientů do vany. Úvodní část práce se zabývá průzkumem trhu s těmito manipulátory a vanami pro ústavní péči. Řešení jejich konstrukce, možné pohony atd. Na základě prostředí a objektu manipulace je sestaven požadavkový list, který bude vymezovat konstrukční řešení manipulační jednotky. Z podkladů rešerše a z požadavkového listu se navrhnou varianty řešení, které se budou lišit svou konstrukcí. Varianty jsou vymodelovány v programu Pro/ENGINEER. Pomocí hodnotové analýzy se vybere optimální varianta. Výsledná varianta vzešlá z hodnotové analýzy je následně podrobně zpracována, vymodelována a popsána. Na závěr je práce zhodnocena a je určena přibližná cena navrženého manipulátoru.

1 Analýza současného trhu s pojízdnými manipulátory

Cílem kapitoly je provést průzkum na trhu s pojízdnými manipulátory. Tyto manipulátory musí být schopny vložit pacienta do vany. Kapitola obsahuje jen zlomek trhu s těmito přístroji, ale rozdíly jsou pouze v designu. Manipulátory jsou jinak principiálně stejné.

1.1 Zvedák KG HEKTOR

Tento zvedák je vhodný nejen pro přepravu pacientů, ale také pro vkládání pacientů do vany. Ovládání je řešeno ručním ovladačem. Zvedák je opatřen speciální sedačkou, která má ze stran umístěná odklopná madla pro zajištění větší bezpečnosti pacienta a toaletní otvor s krytem. Sedačka je konstruována tak, aby šlo naložit ležícího pacienta na zemi.



Obr. 1 - Zvedák KG HEKTOR

zvedák GK HEKTOR	
max. celková výška	1 760 mm
šířka pojezdu	530 až 680 mm
délka pojezdu	850 mm
min./max. výška sedátka	130 až 1 060 mm
nosnost	150 kg
zdvih	630 mm
rozměry sedátka	410 x 530 mm
způsob zvedání	elektrické
cena	139 009 Kč

Tab. 1 - Parametry zvedáku KG HEKTOR

1.2 Zvedák Liko Viking S



Jedná se o velmi lehký, 24 kilogramů vážící hliníkový zvedák. Díky šířce 540 mm je jedním z nejužších zvedáků na trhu a může se tak dostat i do stísněnějších prostorů. Zvedák je konstruován pro zavěšení pacienta do látkové sedačky, která je velice pohodlná a pacient je v ní bezpečně zavěšen.

Obr. 2 - Zvedák Liko Viking S

zvedák Liko Viking S	
max./min. celková výška	1 970/1 310 mm
šířka pojezdu	540 mm
délka pojezdu	1 100 mm
výška pojezdu	110 mm
nosnost	160 kg
váha	25 kg
rozsah zdvihu	450 až 1 750 mm
rychlost zdvihu	30 mm/s
způsob zvedání	elektrický (24V)
cena	63 670 Kč

Tab. 2 - Parametry zvedáku Liko Viking S

[3]

1.3 Zvedák Oxford Stature

Elektrický zvedák Oxford je určen pro látkové sedačky. Závěsná kolébka, určena pro napomáhání v chůzi, je vyměnitelná. Díky tomu se mohou použít různé látkové sedačky, které jsou vhodné pro jiné typy manipulací.



Obr. 3 - Zvedák Oxford Stature

zvedák Oxford Stature	
max./min. celková výška	1 945/2 130
šířka pojezdu	760 mm
délka pojezdu	1 390 mm
výška pojezdu	110 mm
nosnost	227 kg
váha	73,5 kg
rozsah zdvihu	390 až 1 500 mm
způsob zvedání	elektrický (12/24 V)
cena	104 200 Kč

Tab. 3 - Parametry zvedáku Oxford Stature

1.4 Zvedák Topaz – Avanti

Zvedák s označením Topaz – Avanti je vhodný pro převoz a manipulaci se zvláště tělesně postiženými pacienty. Konstrukce manipulátoru musí tedy zajistit nejvyšší bezpečnost pro přepravované osoby.



Obr. 4 - Zvedák Topaz Avanti

zvedák Topaz - Avanti	
max. celková výška	2 030 mm
šířka pojezdu	850 mm
délka pojezdu	840 mm
výška pojezdu	95 mm
rozvor koleček	605 mm
min./max. výška lehátka	50/120 (100*)
nosnost	150 kg
váha	63/52* kg
šířka sedátka	450 mm
způsob zvedání	elektrický (24V)/hydraulický*
cena	103 570/(91 290*) Kč

Tab. 4 - Parametry zvedáku Topaz Avanti

1.5 Portálový zvedák

Níže zobrazený portálový zvedák disponuje většími rozměry než ostatní zde uvedené zvedáky, tudíž může být problém s prostorem v okolí vany. Na druhou stranu výhodou větších rozměrů může být větší stabilita. Zvedák lze nastavit jak v horizontální, tak i ve vertikální poloze.



Obr. 5 - Portálový zvedák

portálový zvedák	
max. celková výška	1 990 mm
šířka pojezdu	1 440 mm
délka pojezdu	1 990 až 5 490 mm
výška pojezdu	2 250 až 2 650 mm
nosnost	400 kg
váha	108 kg
způsob zvedání	elektrický
cena	177 320 Kč

Tab. 5 - Parametry portálového zvedáku

[6]

1.6 Zhodnocení kapitoly

Současný trh s pojízdnými manipulátory nabízí mnoho těchto zvedáků, ale jejich konstrukce jsou velmi podobné a zvedání funguje ve většině případů na stejném principu. Jedná se o stejnosměrný motor doplněný převodem, který pohání pohybový šroub a ten zajišťuje samotné zvedání nebo spouštění. Krom elektrického pohonu, byl uveden i pohon hydraulický. Tento pohon však není tak často používán jako elektrický. Pojezdové ústrojí těchto manipulátorů je tvořeno dvěma ližinami, které se ve většině případů dají rozevřít podle potřeby. Poslední uvedený pojízdný zvedák se liší od ostatních svou portálovou konstrukcí a zvedacím zařízením. U některých zvedáků je vhodnější použít závěsné látkové sedáky oproti pevným sedačkám. Výsledný zvedák vzešlý z této práce by měl využít výhod jednotlivých manipulátorů z této kapitoly.

2 Průzkum trhu s vanami pro ústavní péči

Kapitola nahlíží do současného trhu s vanami. Jsou zde vybrány vany, pro ústavní péči, rozdílných typů. Dále jsou zde nastíněny různé situace vkládání pacientů do vany.

2.1 Vana ALFA 50

Jedná se, co se týče konstrukce, o klasickou vanu. Navíc je doplněna úchyty a zvláštními režimy pro ústavní péči.



Obr. 6 - Vana ALFA 50

vana ALFA 50	
max. obsah vany	320 l
hmotnost	140 kg
rozměry (d x š x v)	2 050 x 800 x 800

Tab. 6 - Parametry vany ALFA50

[7]

2.2 Vana 125 T

U této vany na patkách je vstup ulehčen díky odklopným bočním dvířkům, které jsou ovládány elektrickým pohonem a snižují nástupní výšku do vany. Dvířka jsou jištěna senzory proti jejich otevření při napuštěné vaně.

*Obr. 7 - Vana 125 T*

vana 125 T	
max. šířka	720 mm
max. délka	1 780 mm
max. výška	930 – 960 mm
výška vstupu	515 mm

Tab. 7 - Parametry vany 125 T

[8]

2.3 Vana MURNAU

Tato speciální vana je vybavena podvozkem, díky němu je pojízdná. Pomocí elektrického zvedáku je možné s vanou manipulovat v rozmezí hodnot 630 – 930 mm.

*Obr. 8 - Vana MURNAU*

vana MURNAU	
plocha lehátka	625 x 2000 mm
výška	630 – 930 mm
max. šířka	810 mm
max. délka	2115 mm
váha	100 – 170 kg
nosnost	150 kg

Tab. 8 - Parametry vany MURNAU

[9]

2.4 Vana Henley

Jedná se o vanu, která má spodní vybrání pro pojízdné manipulátory. Navíc je tato vana vybavena zvedákem, který jí umožňuje svislý pohyb.



Obr. 9 - Vana Henley

vana Henley	
hloubka	690 mm
max. šířka	700 mm
max. délka	1 800 mm
nosnost	150 kg

Tab. 9 - Parametry vany Henley

[10]

2.5 Vana Sanus

Vana Sanus, jež se vyrábí ve třech velikostech, má tak jako předchozí vana Henley nastavitelnou výšku, což usnadňuje přepravu pacienta do vany. Další výhodou této vany je opět možnost nastavení výšky.



Obr. 10 - Vana Sanus

vana Sanus	
výška	590 až 1 000 mm
max. šířka	780 mm
hloubka	400 mm
délka	1 550 až 2 200 mm
nosnost	350 kg

Tab. 10 - Parametry vany

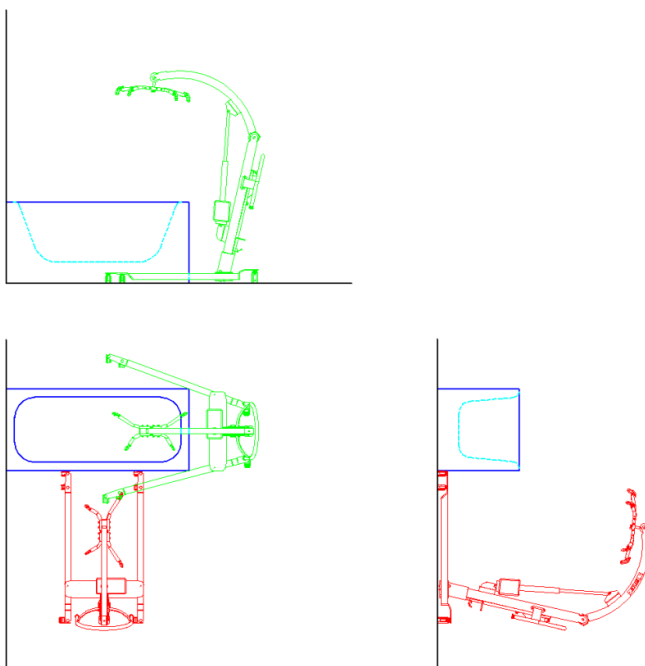
[11]

2.6 Možné situace vkládání pacientů do vany

Vkládání imobilních pacientů do vany může být prováděno různými způsoby. To vyplývá z umístění vany v místnosti a z její samotné konstrukce. Tyto různé situace jsou uvedeny a popsány zde v podkapitolách. Pro schémata jsou použity typy van a pojízdných manipulátorů z průzkumu trhu v kapitolách výše. **Zelený manipulátor** v obrázcích níže značí možnou pozici pro vložení pacienta do vany, naopak **červený manipulátor** nemožnou pozici pro vložení.

2.6.1 Vana kolmo na stěnu bez patek

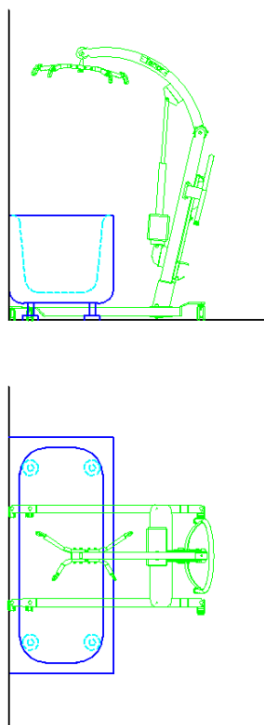
K vaně, umístěné kolmo na stěnu, je přístup ze tří stran. Ze dvou stran není možné se dostat nad vanu. Až ve třetím, kdy ližiny podvozku obkroží vanu. Tato situace umožní manipulátoru dostat se s pacientem nad vanu, bez rizika převrácení.



Obr. 11 - Vana kolmo na stěnu bez patek

2.6.2 Vana podélně se stěnou s patkami

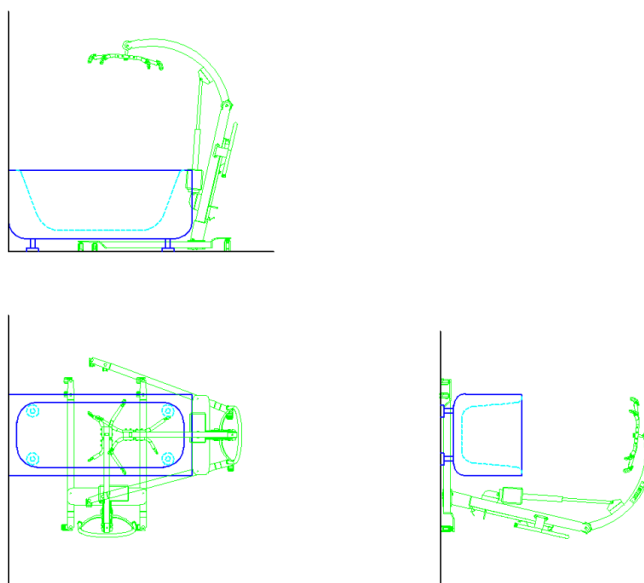
Tato příznivější varianta s jedním přístupem umožňuje zajištění ližin podvozku manipulátoru pod vanu. A to díky tomu, že je vana postavená na patkách, takže je možné umístit pacienta přímo nad vanu a spustit ho do ní.



Obr. 12 - Vana podélně se stěnou s patkami

2.6.3 Vana kolmo na stěnu s patkami

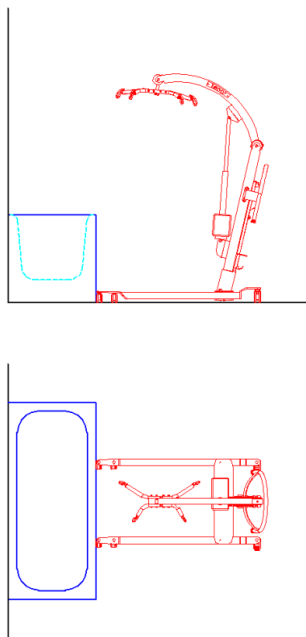
Další umístění vany, stejně jako u první situace, nabízí tři přístupové cesty. S tím rozdílem, že je možné zajet s manipulátorem přímo nad vanu, bez obav z převržení manipulátoru s pacientem.



Obr. 13 - Vana kolmo na stěnu s patkami

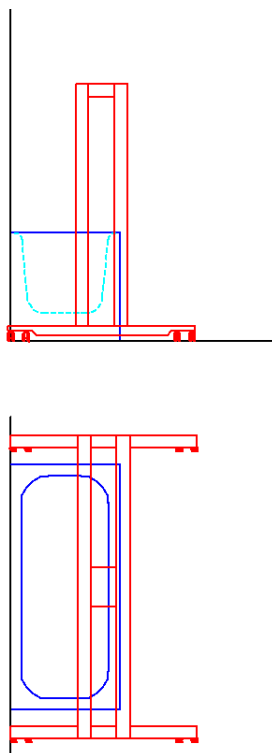
2.6.4 Vana podélně se stěnou bez patek

Vana je umístěna podél stěny a manipulátor je k ní možno přistavit pouze z jedné strany, jak je vidět na obrázku níže. Manipulátor se bohužel nemůže dostat nad vanu, aniž by se nepřevrhl. Tato situace nastane tehdy, kdy se pacient zavěšený na rameni dostane před přední kolečka.



Obr. 14 - Vana podélně se stěnou bez patek

Řešením pro tuto situaci by mohl být portálový zvedák, který umožňuje rozevření pojezdových ližin kolem vany. Tím by se pacient dostal nad vanu. Uvedený portálový zvedák z kapitoly 1.5 není však svými rozměry konstrukce vhodný. To lze vidět na obrázku na následující stránce.



Obr. 15 - Vana podélně se stěnou bez patek 2

2.7 Zhodnocení kapitoly

V rešerši van pro zařízení v sociální péči byly vybrány vany rozdílných typů, od klasické zděné vany, až po pojízdnou zvedací vanu. Většina van je přizpůsobena pro vkládání pacientů do nich pomocí pojízdných manipulátorů. Tyto situace jsou uvedeny v kapitole 2.6. Problém nastává při vložení pacienta do klasické zděné vany umístěné podélně se stěnou, kdy se nelze ližinami manipulátoru dostat pod vanu. Tato situace je zobrazena a popsána v kapitole 2.6.4. V současné době není ovšem trendem pořizovat do ústavních zařízení tyto klasické vany. Jiná situace nastává, když jsou již klasické vany takto nainstalovány. Všešlý manipulátor z této práce by měl vyřešit problém se vkládáním pacientů do vany z kapitoly 2.6.4.

3 Požadavky kladené na zařízení

Tato kapitola má za cíl vymezit požadavky, které budou kladeny na výslednou variantu. Ta bude vybrána hodnotovou analýzou, z navržených variant (kap. 4), jako optimální v kapitole číslo pět. Dodržení těchto stanovených podmínek je velmi důležité a musí být bezpodmínečně splněny.

POŽADAVKOVÝ LIST

➤ činnost	vkládání pacientů do vany (viz k. 2.6.4)
➤ nosnost	do 120 kg
➤ hmotnost	max. 75 kg
➤ baterie	snadná a rychlá výměna (náhradní)
➤ doba provozu	min. 20 cyklů (vlození, vyložení)
➤ průjezd dveřmi	1100 x 1970 mm
➤ pohon	elektrický DC (z trhu)
➤ napájecí napětí	12 – 24 V
➤ ovládání zvedání	ovladač s kabelem
➤ ovládání pojezdu	manuální
➤ lokomoční ústrojí	brzděné otočné kladky
➤ sedačka	pevná s bezpečnostními prvky

Vybrané požadavky na konstrukci pojízdného manipulátoru byly vyspecifikovány s vedoucím diplomové práce. Rozměry v požadavku průjezdu dveřmi byly zvoleny ze zásad navrhování dveří v budově [12].

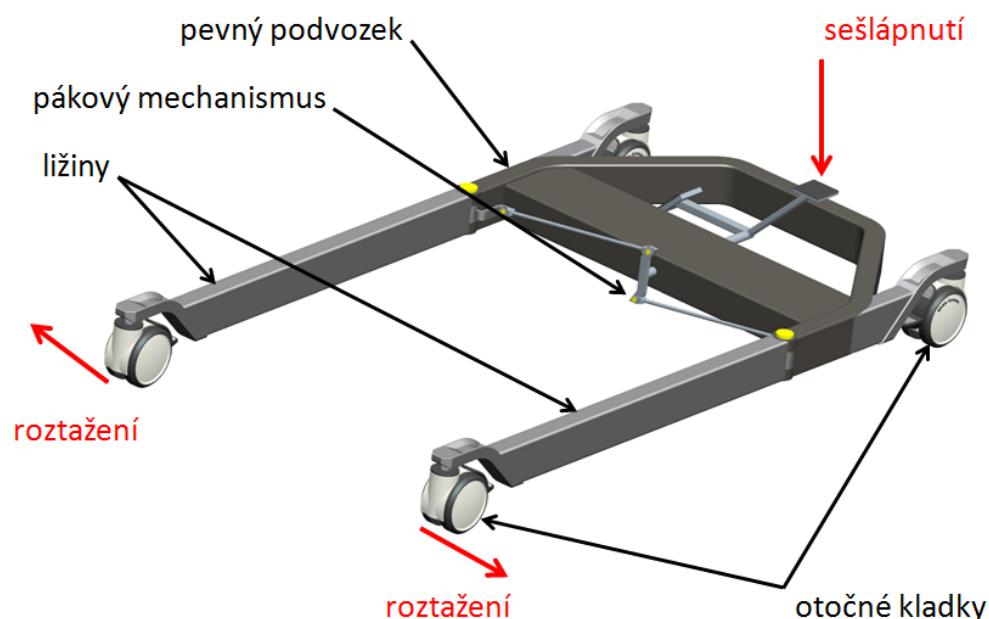
4 Varianty řešení pojízdného manipulátoru

Varianty navržené v této kapitole musí konstrukčně umožnit nejen vkládání pacientů do vany umístěné podélně se stěnou z kapitoly 2.6.4, ale také pro ostatní situace. Pro tyto situace byly navrženy a vymodelovány čtyři varianty řešení. V podkapitolách níže jsou popsány konstrukce a principy zvedání jednotlivých variant. Tato kapitola je doplněna přílohami B, C, D a E, kde je pro každou variantu znázorněn grafický postup vložení pacienta do vany.

4.1 Varianta A

První z variant, varianta A, je tvořena podvozkem a manipulační nástavbou se sedačkou pro umístění pacienta.

Podvozek je postaven na čtyřech otočných brzděných kladkách. Přední dvě kladky jsou umístěny na roztažitelných ližinách, kdy jsou tyto ližiny spojeny s pevnou částí podvozku pomocí čepů a mohou se tedy vůči pevné části natáčet. Na této pevné části jsou přišroubovány zbylé dvě kladky. Natáčení ližin zajišťuje pákový mechanismus, který po sešlápnutí pedálu roztáhne (sevre) ližiny. Roztáhnutím těchto ližin vytvoříme větší prostor pro vjetí vozíčku pod manipulační nástavbu, nebo například pro obkročení vany (viz kapitoly 2.6). Téměř totožný podvozek je použit u variant B a C. Konstrukce je jen pozměněna pro daný princip zvedání a smysl zabezpečení proti převrácení.

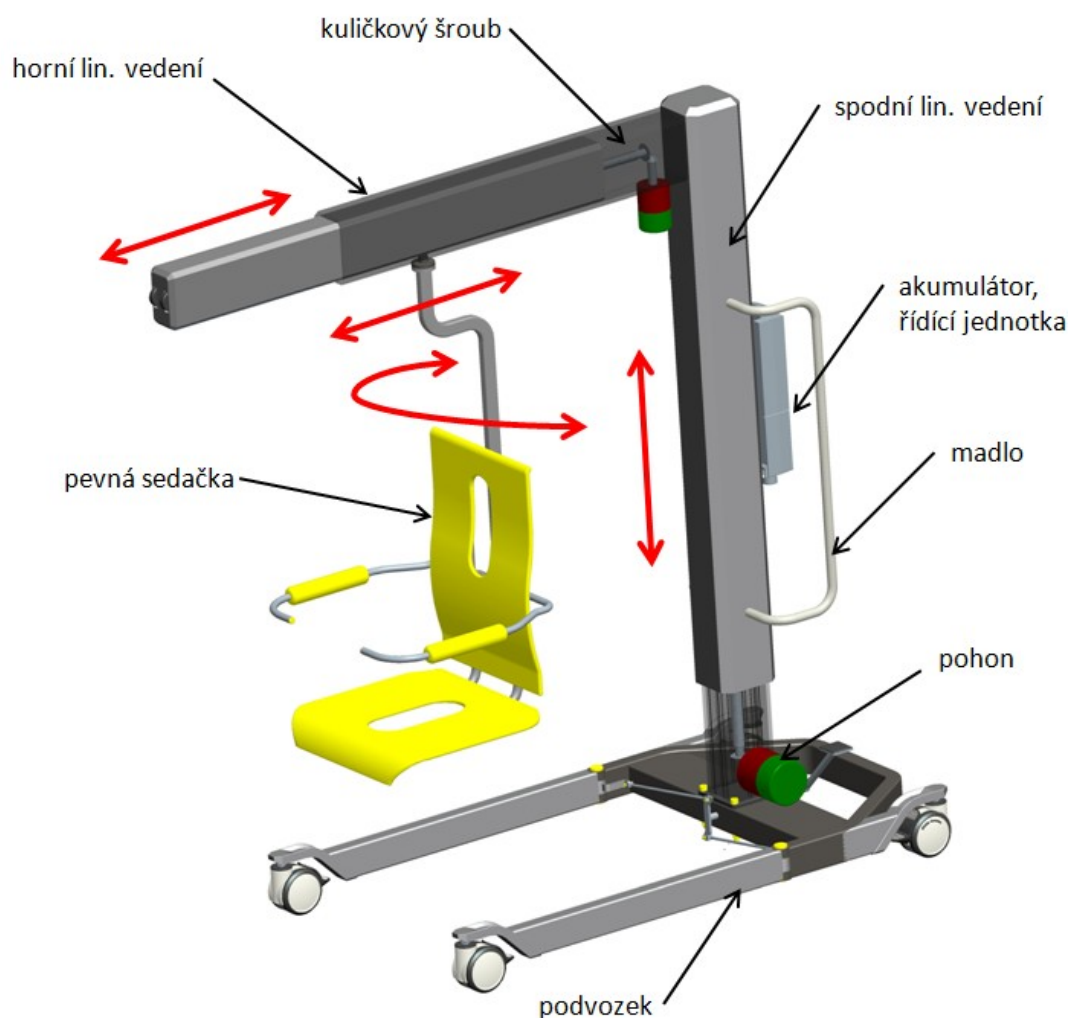


Obr. 16 - Podvozek varianty A (B, C)

Zvedání a přemístění pacienta do vany je řešeno dvěma lineárními vedeními. Obě jsou poháněny elektromotorem s převodovkou a brzdou, kdy tato pohonná jednotka otáčí přes kuželové soukolí kuličkovým šroubem. Na tomto šroubu je umístěna matice, která je spojena s vedením a vytváří jeho pohyb dle smyslu otáčení motoru. První z lin. vedení je umístěno na podvozku a vytváří vertikální lineární pohyb. Druhé vedení je umístěno na horním konci předchozího vedení a umožňuje horizontální pohyb.

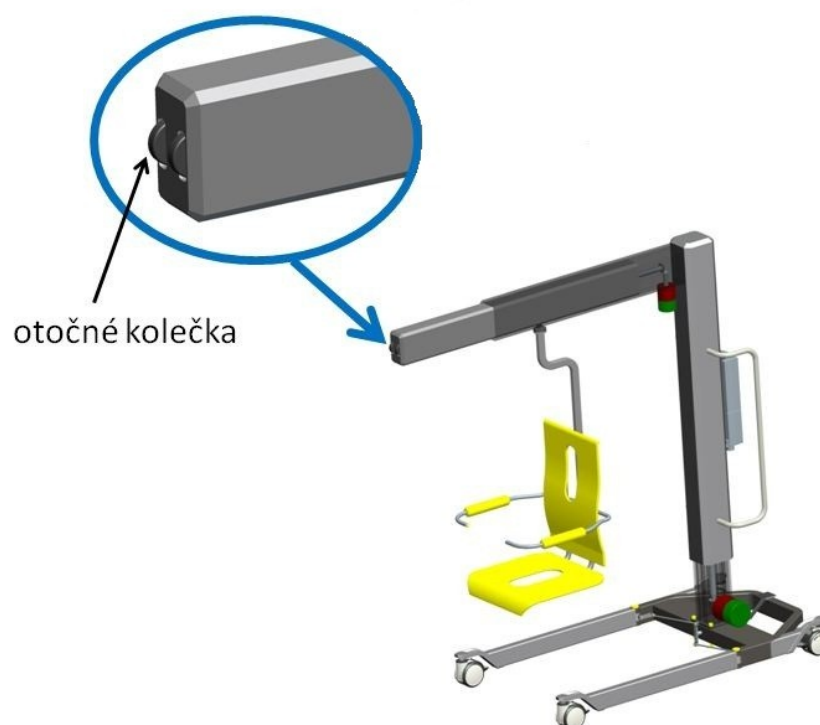
Výše dvě uvedené pohonné jednotky jsou řízeny řídicí jednotkou, doplněnou vhodným akumulátorem. Tento napájecí a řídicí subsystém je umístěn, spolu s madly pro manipulaci se zvedákem, na sloupku lin. vedení (pro všechny varianty je použita stejná řídicí jednotka a akumulátor).

Na pohyblivé části horizontálního lin. vedení je vytvořena drážka pro kolečka, na kterých je uchycena konstrukce pevné sedačky. Sedačka se může v této drážce pohybovat tam a zpět. Navíc se může sedačka otáčet kolem své vertikální osy o $\pm 90^\circ$. Sedačku lze po vložení pacienta do vany od manipulátoru odejmout a odjetím manipulátoru vytvořit místo pro obsluhu pacienta. Sedačka je dále opatřena bezpečnostními opěrkami pro bezpečí pacienta, které se dají překlopit za záda. Tato sedačka je stejná pro všechny varianty, rozdíl je pouze ve spojení sedačky s manipulátorem.

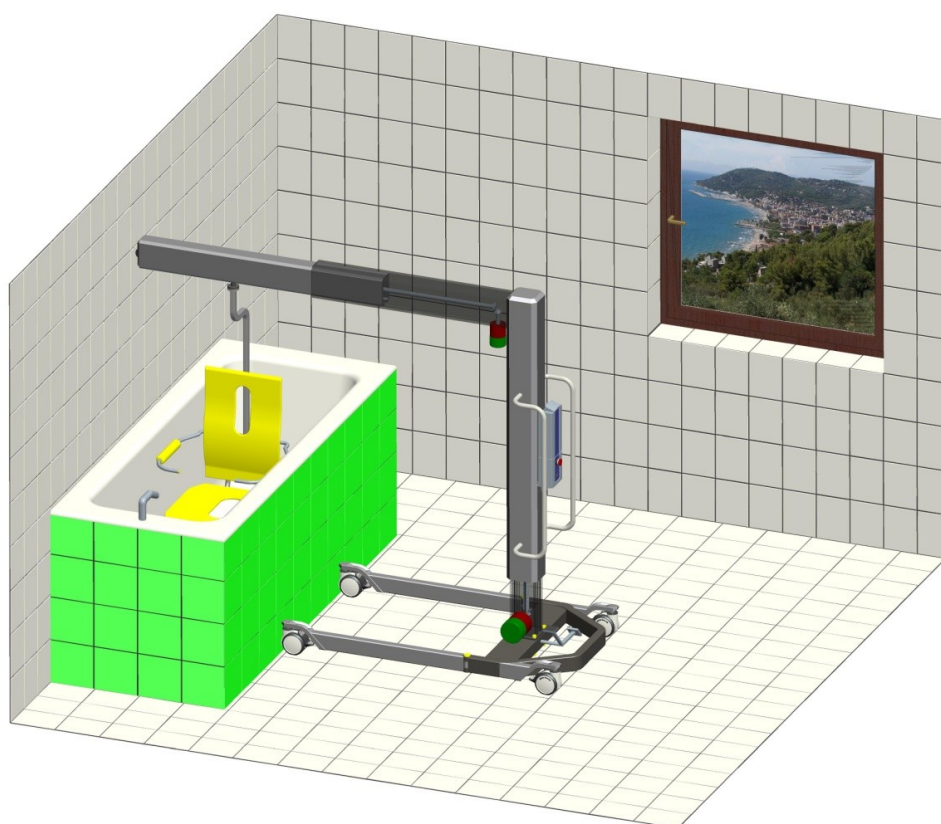


Obr. 17 - Konstrukce manipulátoru varianty A

Při vložení sedačky s pacientem do vany, se dostane těžiště pacienta se sedačkou před přední kolečka manipulátoru a tím dojde k převrácení zvedáku. Této situaci předejdeme u varianty A tím, že na konec horního lineárního vedení umístíme otočná kolečka. Tyto kolečka se opřou o zeď umístěnou za vanou a tím dojde k zapření manipulátoru. Až následně se pacient ručně posune se sedačkou za přední kola manipulátoru (nad vanu).



Obr. 18 - Zajištění stability manipulátoru varianty A

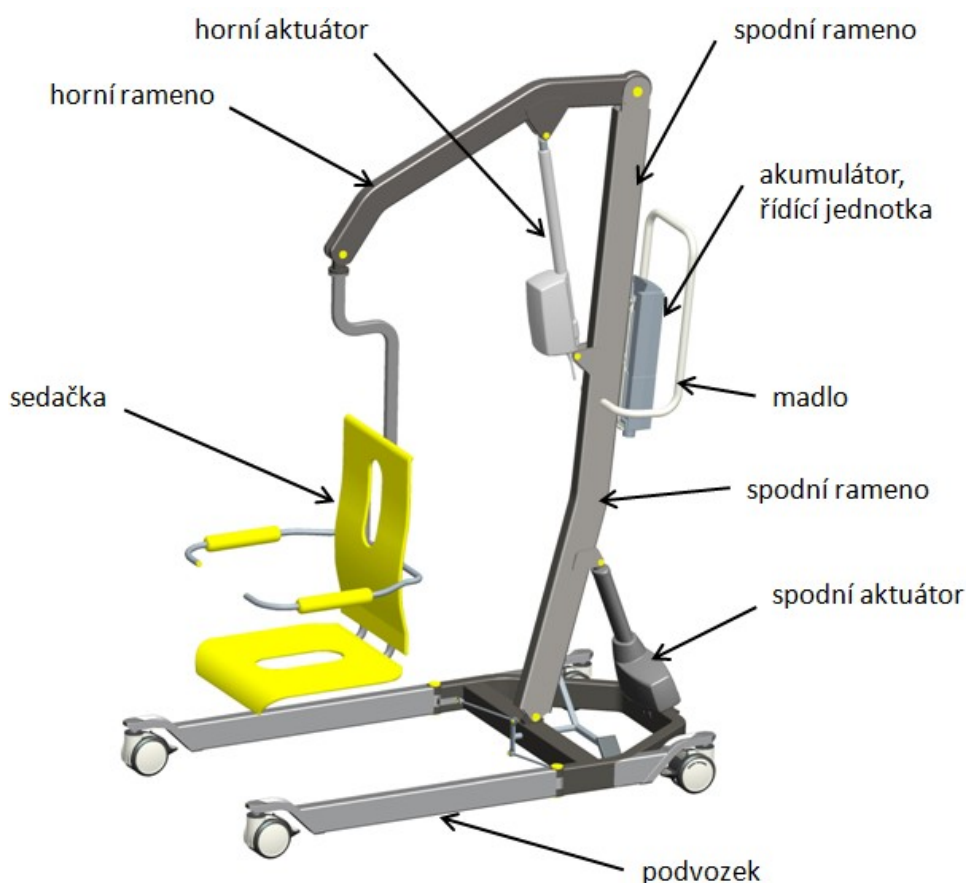


Obr. 19 - Situace vložení sedačky manipulátorem do vany – varianta A

4.2 Varianta B

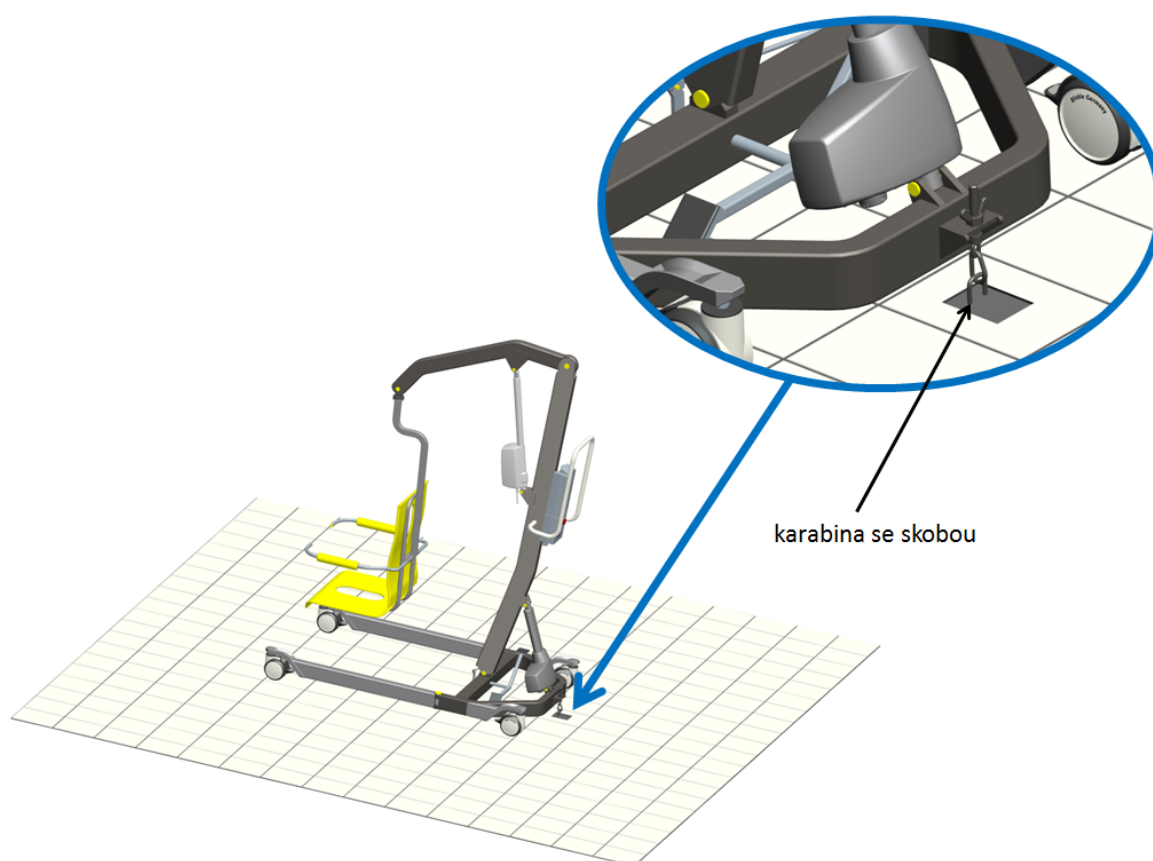
Jak již bylo zmíněno v popisu varianty A, je tento podvozek téměř shodný s podvozkem předchozí (i následující) varianty.

Zásadní rozdíl variant je v principu zvedání. Manipulační nástavba varianty B je tvořena dvěma rameny, která jsou poháněna dvěma lineárními aktuátory. Jedná se o motor s převodovkou, který pohání kuličkový šroub a ten vysouvá tyč aktuátoru (matici). Spodní rameno a aktuátor přemísťuje pacienta spíše ve vodorovné poloze a horní aktuátor s ramenem naopak ve svislé poloze. Na konci horního ramene se nachází interface pro připojení sedačky. Na spodním rameni se nachází madlo s akumulátorem a řídicí jednotkou.

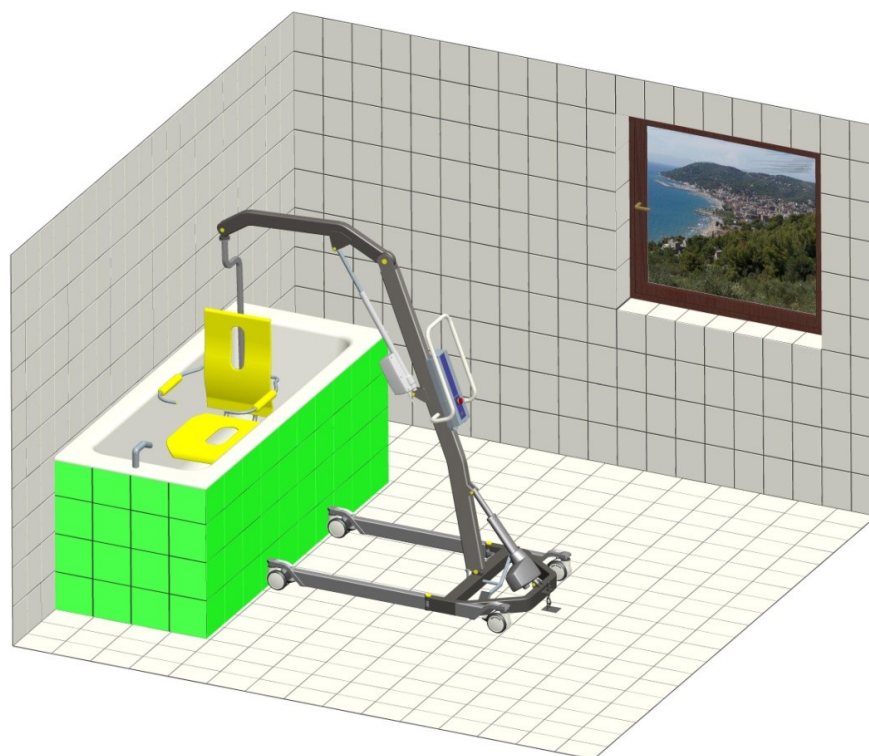


Obr. 20 - Konstrukce manipulátoru varianty B

K zabránění převrácení varianty B slouží karabina umístěná na zadní části podvozku. Tato karabina se uchytí o skobu ukotvenou v podlaze před vanou.



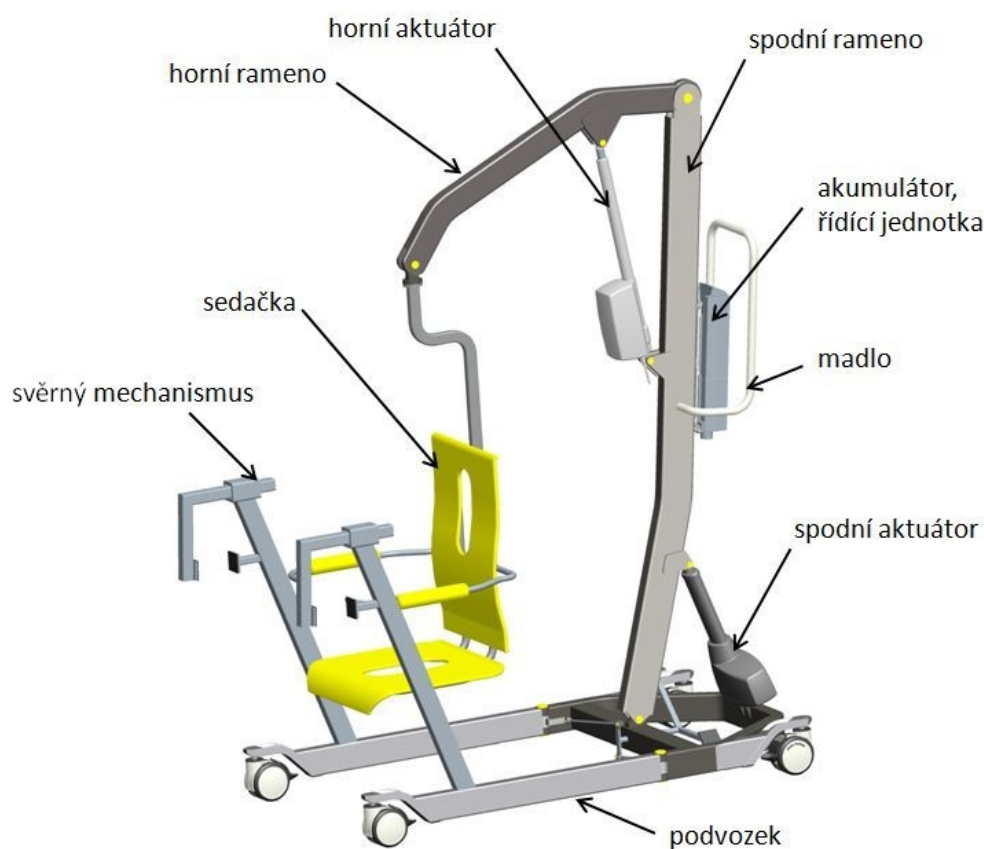
Obr. 21 - Zajištění stability manipulátoru varianty B



Obr. 22 - Situace vložení sedačky manipulátorem do vany – varianta B

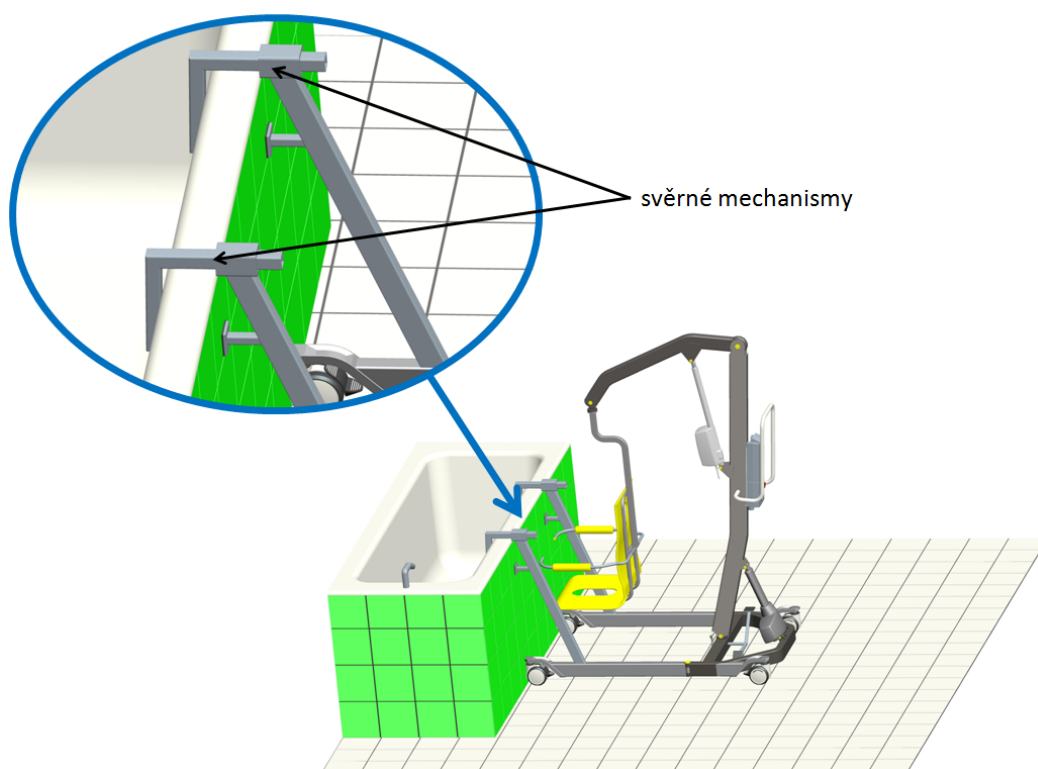
4.3 Varianta C

Třetí varianta je totožná s variantou B. Opět manipulační nástavbu tvoří dvojice ramen a aktuátorů.

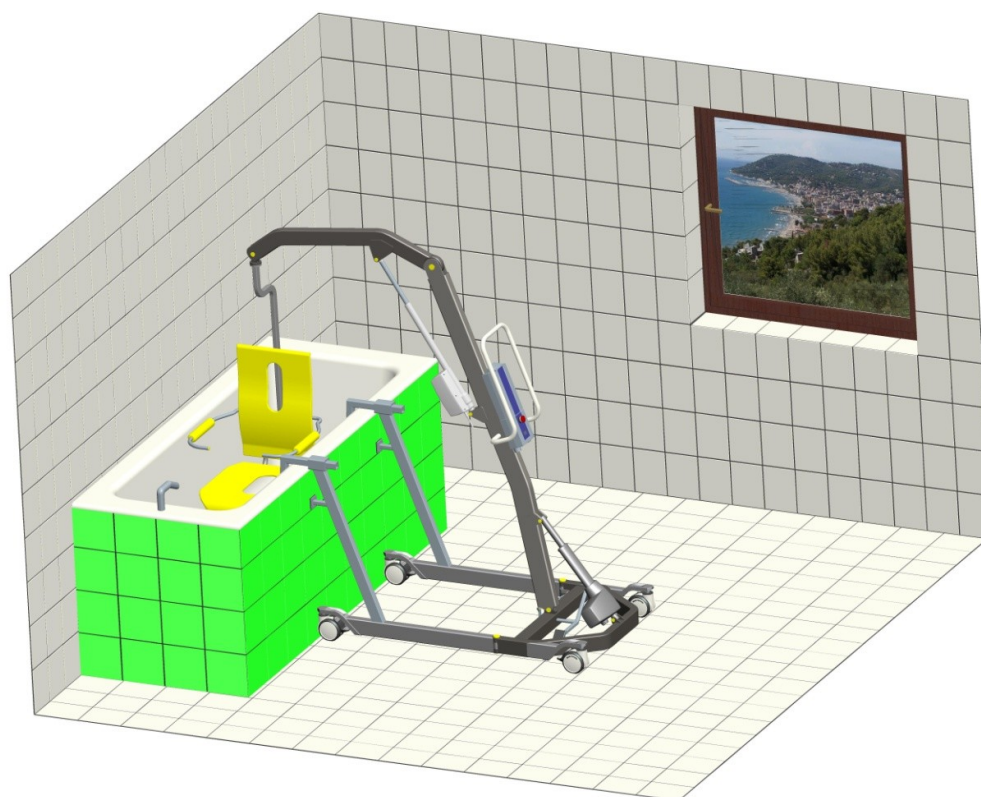


Obr. 23 - Konstrukce manipulátoru varianty C

Rozdíl spočívá v principu ukotvení proti převrácení. Zde je tento problém řešen tím způsobem, že na ližinách podvozku jsou přidány páky, na jejichž koncích jsou umístěny pogumované svěrné mechanismy, které se uchytí o přední stěnu vany, jak je vidět na obrázku 24.



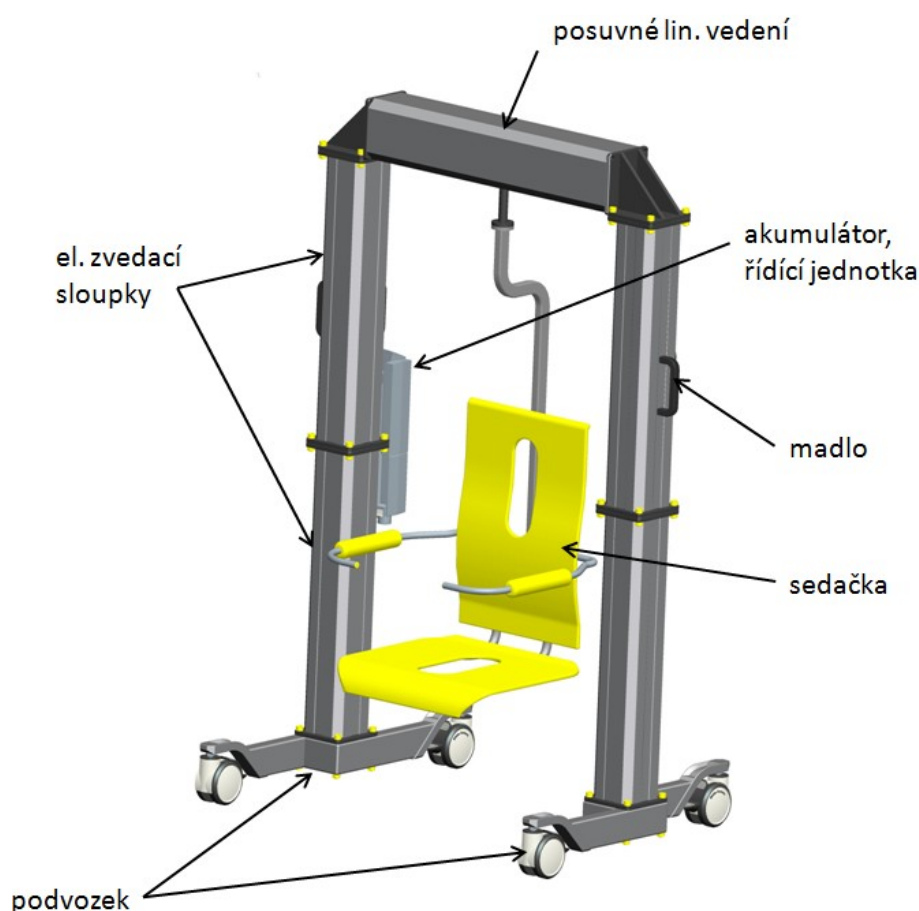
Obr. 24 - Zajištění stability manipulátoru varianty C



Obr. 25 - Situace vložení sedačky manipulátorem do vany – varianta C

4.4 Varianta D

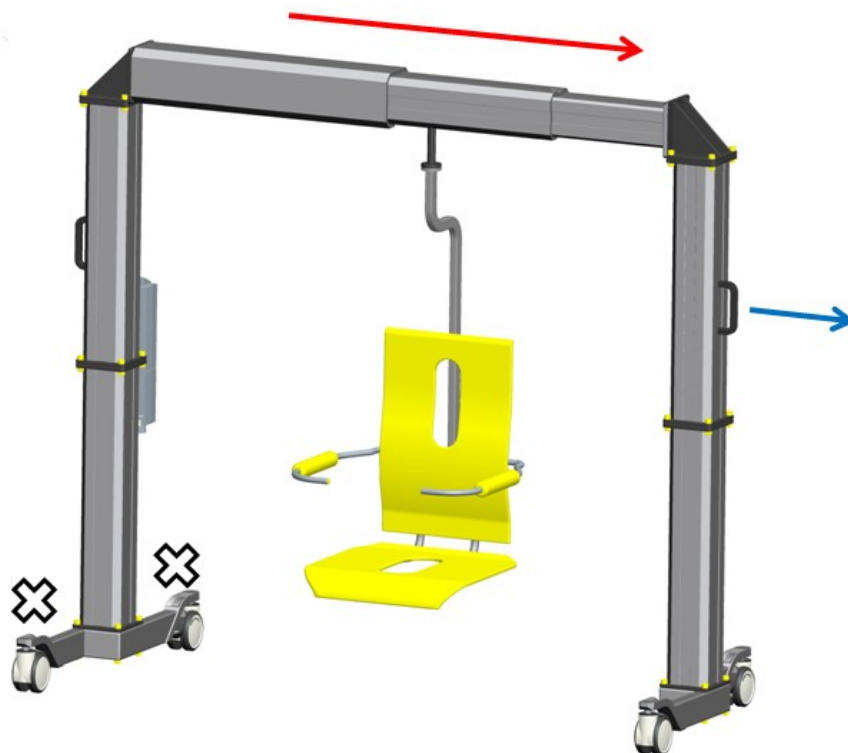
Tato poslední varianta se zásadně liší od předchozích variant. Jedná se o pojízdný portálový zvedák na čtyřech otočných kladkách. Skládá se ze dvou svislých sloupů, které jsou tvořeny dvěma elektrickými zvedacími sloupky, jež jsou umístěny na sobě. Tyto el. sloupky umožní zvedání ve svislé rovině. Sloupy jsou v horní části vodorovně spojeny lineárním výsuvným vedením (bez pohonu). Na tomto vedení je zavěšena sedačka. Opět je na manipulátoru umístěna řídicí jednotka s akumulátorem. Na svislých sloupkách jsou umístěny vždy dvě madla pro snadnou manipulaci se zvedákem.



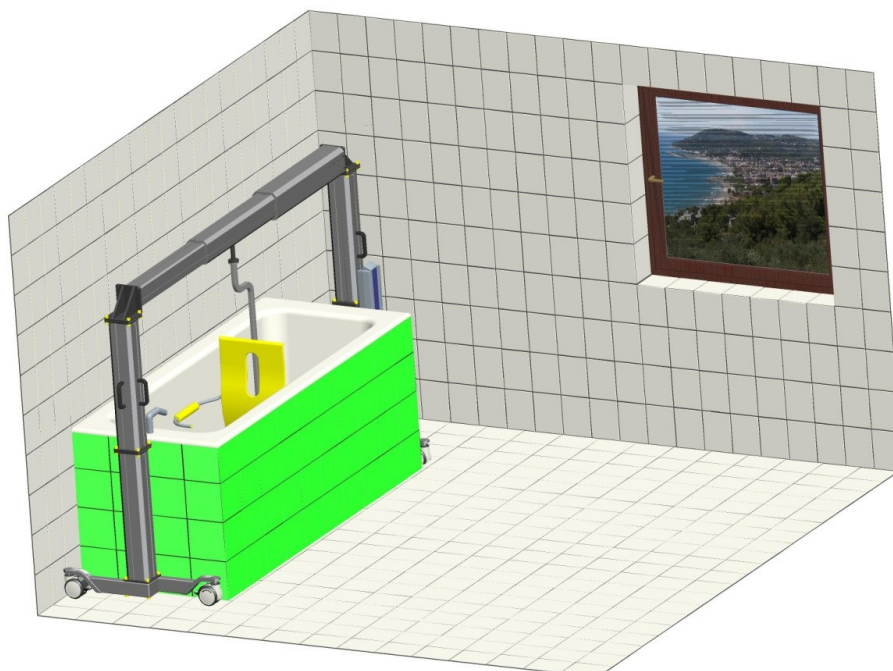
Obr. 26 - Konstrukce manipulátoru varianty D

Jelikož se sedačka s pacientem vždy nachází mezi koly podvozku, není třeba nijak dále řešit opatření proti převrácení.

Pro roztažení manipulátoru do stran je nutné zabrzdit jednu ze stran podvozku, poté se uchopí druhá strana zvedáku za madlo a táhne se do požadované šířky roztažení. Se sedačkou je možno pohybovat v rozmezí prostředního článku horního lineárního vedení.



Obr. 27 - Roztažení manipulátoru D



Obr. 28 - Situace vložení sedačky manipulátorem do vany – varianta D

5 Výběr optimální varianty na základě hodnotové analýzy

Z výše uvedených variant kapitoly 4 bude v této kapitole na základě hodnotové analýzy [13] vybrána optimální varianta.

5.1 Bodovací stupnice kritérií

Úroveň zvolených kritérií se určí pomocí bodovací stupnice, kde je nejpříznivější stav označen jako vysoká úroveň a ohodnocen 10 body. Naopak nejpříznivější stav je označen nepříznivou úrovní s 0 body.

úroveň kritéria	počet bodů
vysoká	10
dobrá	7
průměrná	5
nízká	3
nevyhovující	1
nepříznivá	0

Tab. 11 - Bodovací stupnice kritérií

5.2 Hodnotící kritéria variant

Z konstrukcí vymodelovaných variant se zvolily kritéria. Těmto kritériím bude přidělena, pro každou variantu zvlášť, úroveň (příloha A) dle bodovací stupnice výše. Zvolené kritéria, jejich popis a úrovně jsou v tabulce níže.

kritérium	popis kritéria	označení kritéria	varianta			
			A	B	C	D
hmotnost	celková hmotnost manipulátoru	K1	3	10	7	1
konstrukce	složitost konstrukce	K2	3	7	7	10
rozměry	rozměrová náročnost	K3	5	10	10	3
závislost	závislost na prvku mimo konstrukci manipulátoru	K4	7	1	7	10
náklady	náklady na nákup a výrobu	K5	5	7	10	3
bezpečnost	riziko převrácení se manipulátoru	K6	3	10	7	10
tuhost	tuhost konstrukce	K7	7	5	5	10
funkčnost	správná a jednoduchá funkce vkládání	K8	5	7	7	3

Tab. 12 - Hodnotící kritéria variant

5.3 Váha významnosti kritérií

Kritériím je přiřazen rozsah váhy významnosti s nejvyšší hodnotou 2 a nejnižší 1. Váha významnosti jednotlivých kritérií se bude pohybovat mezi těmito čísly.

váha významnosti kritérií	
nejvyšší	2
nejnižší	1

Tab. 13 - Váha významnosti kritérií

5.4 Porovnání v trojúhelníku páru

Pro určení váhy významností jednotlivých kritérií byla zvolena metoda porovnání v trojúhelníku páru. Princip spočívá ve vzájemném porovnání vždy jen dvou kritérií. Při zvolení významnějšího kritéria se danému kritériu přiřadí počet voleb 1. Naopak méně významné kritérium obdrží počet voleb 0. Při shodné významnosti budou mít obě kritéria počet voleb 0,5. Po porovnání všech kombinací kritérií se sečtou počty voleb jednotlivých kritérií. Kritérium s největším počtem voleb je kritérium nejvýznamnější. Porovnání trojúhelníku v páru je provedeno autorem diplomové práce a vybraným odborníkem.

porovnávané páry funkcí							počet voleb v
K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	1
K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	
	K2	K2	K2	K2	K2	K2	2,5
	K3	K4	K5	K6	K7	K8	
		K3	K3	K3	K3	K3	1,5
		K4	K5	K6	K7	K8	
			K4	K4	K4	K4	5,5
			K5	K6	K7	K8	
				K5	K5	K5	4
				K6	K7	K8	
					K6	K6	7
					K7	K8	
						K7	1
						K8	5,5
						celkem	28

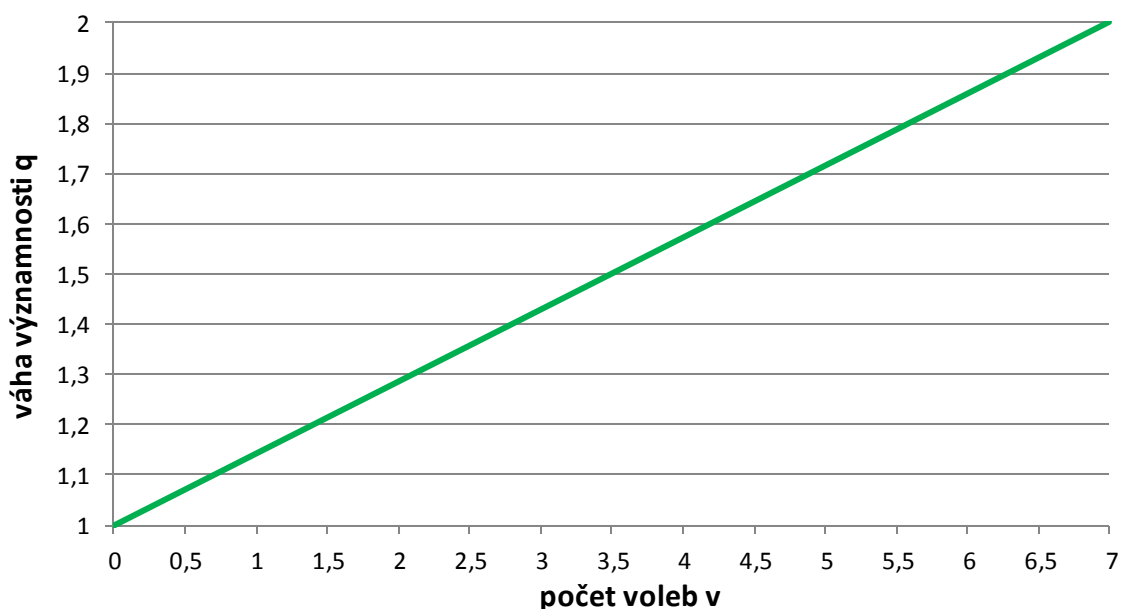
Tab. 14 - Metoda porovnání v trojúhelníku párů podle autora diplomové práce

porovnávané páry funkcí							počet voleb v
K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	1,5
K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	
	K2	K2	K2	K2	K2	K2	3
	K3	K4	K5	K6	K7	K8	
		K3	K3	K3	K3	K3	2
		K4	K5	K6	K7	K8	
			K4	K4	K4	K4	4
			K5	K6	K7	K8	
				K5	K5	K5	5
				K6	K7	K8	
					K6	K6	6,5
					K7	K8	
						K7	0,5
						K8	5,5
						celkem	28

Tab. 15 - Metoda porovnání v trojúhelníku párů podle Bc. Davida Hanzlíka

Pro určení váhy významnosti je použit následující vzorec (1). Při dosazení počtu voleb jednotlivých kritérií do tohoto vzorce získáme dané váhy významností kritérií.

$$q = \frac{1}{7} \cdot v + 1 \quad (1)$$



Graf 1 - Závislost váhy významnosti na počtu voleb

kritérium	střední hodnota počtu voleb	váha významnosti q	pořadí
K1	1,25	1,18	7.
K2	2,75	1,39	5.
K3	1,75	1,25	6.
K4	4,75	1,68	3.
K5	4,5	1,64	4.
K6	6,75	1,96	1.
K7	0,75	1,11	8.
K8	5,5	1,79	2.

Tab. 16 - Váhy významnosti kritérií

5.5 Určení pořadí variant

Pro určení pořadí variant je nezbytný výpočet vážených indexů kritérií. Ten se vypočte vynásobením počtu bodů úrovně kritéria a významnosti kritéria q . Sečtením všech vážených indexů dané varianty získáme celkový počet vážených indexů. Varianta s největším počtem těchto indexů je variantou vítěznou.

varianta A			
kritérium	počet bodů	významnost kritéria q	vážený index kritéria
K1	3	1,18	3,54
K2	3	1,39	4,18
K3	5	1,25	6,25
K4	7	1,68	11,75
K5	5	1,64	8,21
K6	3	1,96	5,89
K7	7	1,11	7,75
K8	5	1,79	8,93
celkový součet vážených indexů jednotlivých kritérií varianty A			56,50

Tab. 17 - Celkový počet vážených indexů varianty A

varianta B			
kritérium	počet bodů	významnost kritéria q	vážený index kritéria
K1	10	1,18	11,79
K2	7	1,39	9,75
K3	10	1,25	12,50
K4	1	1,68	1,68
K5	7	1,64	11,50
K6	10	1,96	19,64
K7	5	1,11	5,54
K8	7	1,79	12,50
celkový součet vážených indexů jednotlivých kritérií varianty B			84,89

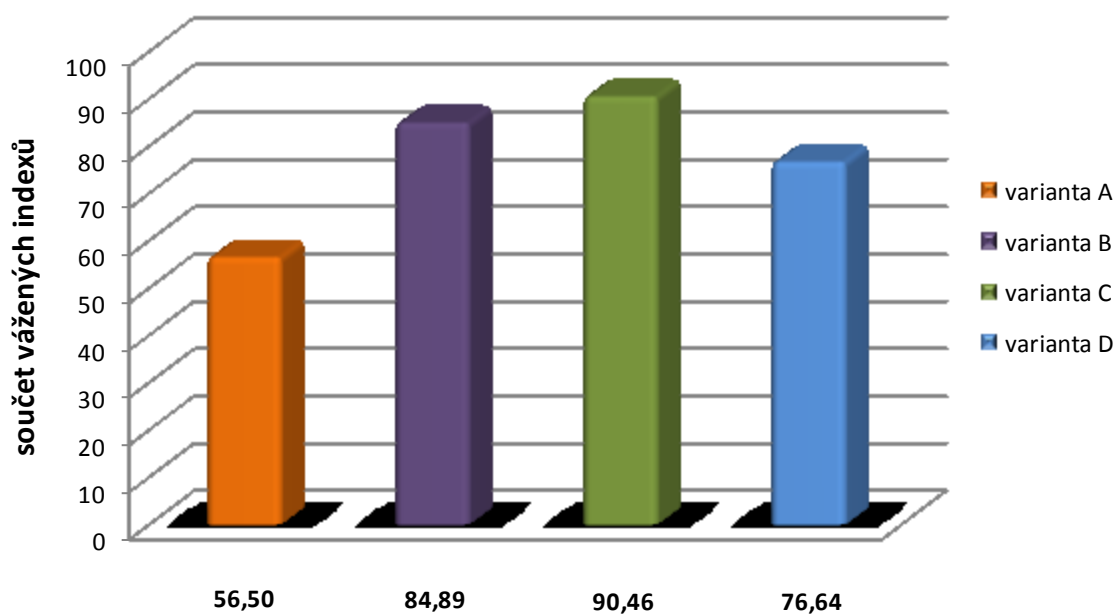
Tab. 18 - Celkový počet vážených indexů varianty B

varianta C			
kritérium	počet bodů	významnost kritéria q	vážený index kritéria
K1	7	1,18	8,25
K2	7	1,39	9,75
K3	10	1,25	12,50
K4	7	1,68	11,75
K5	10	1,64	16,43
K6	7	1,96	13,75
K7	5	1,11	5,54
K8	7	1,79	12,50
celkový součet vážených indexů jednotlivých kritérií varianty C			90,46

Tab. 19 - Celkový počet vážených indexů varianty C

varianta D			
kritérium	počet bodů	významnost kritéria q	vážený index kritéria
K1	1	1,18	1,18
K2	10	1,39	13,90
K3	3	1,25	3,75
K4	10	1,68	16,79
K5	3	1,64	4,93
K6	10	1,96	19,64
K7	10	1,11	11,07
K8	7	1,79	12,50
celkový součet vážených indexů jednotlivých kritérií varianty D			76,64

Tab. 20 - Celkový počet vážených indexů varianty D



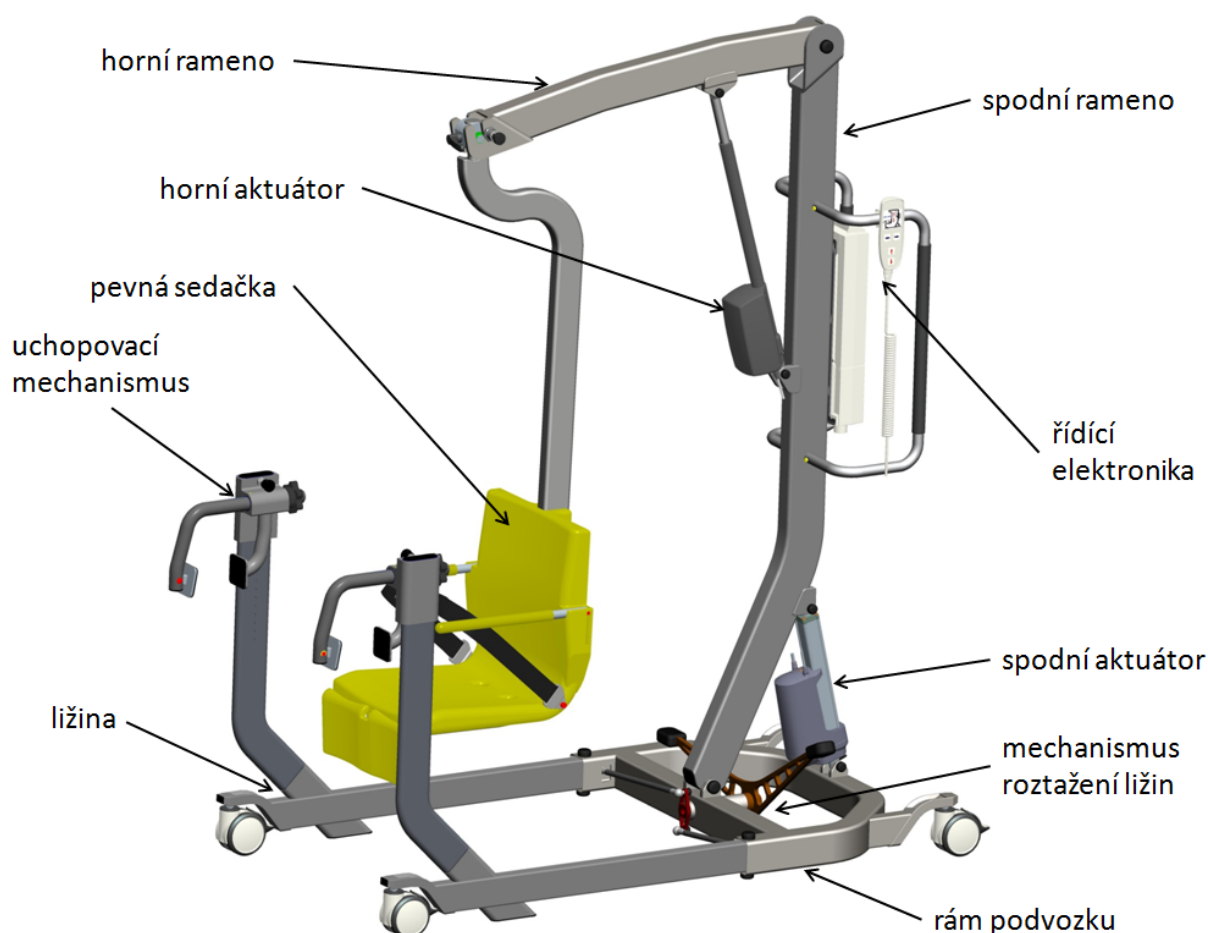
Graf 2 - Porovnání vážených indexů jednotlivých variant

5.6 Zhodnocení kapitoly

Na základě hodnotové analýzy a celkového počtu vážených indexů byla jako optimální varianta zvolena varianta **C**, s celkovým počtem vážených indexů **90,46**. V následujících kapitolách bude tato varianta podrobně řešena.

6 Konstrukční řešení vybrané varianty manipulátoru

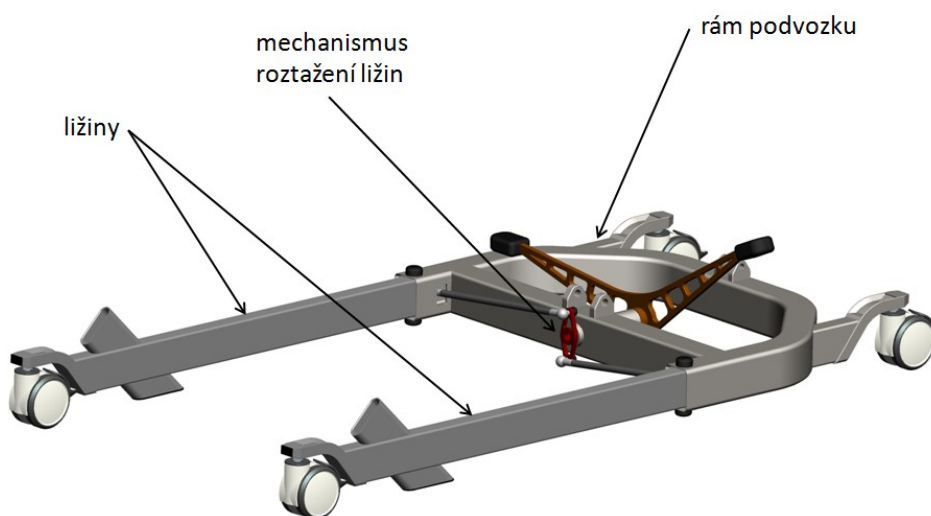
Kapitola se zabývá podrobným konstrukčním řešením optimální varianty C. Budou zde popsány všechny části manipulátoru, jejich funkce a principy. Na obrázku uvedeném níže je zobrazen náhled na konečnou konstrukci zvedáku. Materiál použitý na konstrukci je převážně dural (slitina hliníku) a nerezová ocel. Dural, díky své malé měrné hmotnosti a dobrým vlastnostem a nerez ocel, jelikož některé části manipulátoru budou vystaveny působení vody. Celkové rozměry tohoto manipulátoru jsou (D x Š x V) 1550 x 800 x 1950 mm a hmotnost je 68,5 kg. Skládá se z podvozku, na kterém je umístěna manipulační nástavba v podobě dvou ramen a dvou elektrických aktuátorů. Tyto aktuátory zajišťují vzájemnou orientaci ramen a orientaci samotných ramen vůči podvozku. Na konci horního ramene je umístěna pevná sedačka s bezpečnostními prvky pro usazení pacienta. Na roztažitelných ližinách podvozku jsou umístěny uchopovací mechanismy, které slouží k uchycení ke stěně vany. Příloha G obsahuje další obrázky manipulátoru v různých pozicích.



Obr. 29 - Konstrukce optimální varianty

6.1 Podvozek

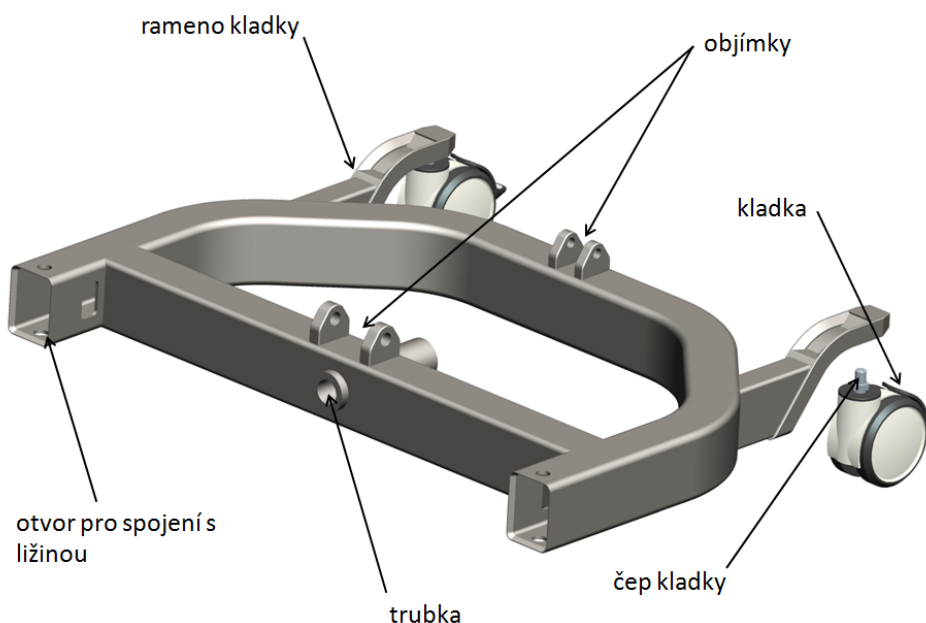
Podvozek manipulátoru se skládá z tří hlavních částí a to z pevného rámu, roztažitelných ližin a mechanismu, který zajistí roztažení těchto ližin.



Obr. 30 - Podvozek manipulátoru

6.1.1 Pevný rám

Jedná se o svařovanou konstrukci z uzavřených obdélníkových profilů (jeklů). Materiál je zvolen dural. Po bocích, v přední části, jsou otvory pro spojení podvozku s ližinami. V prostřední části je do jeklu navařena trubka pro uložení mechanismu roztažení ližin. Na rámu jsou dále umístěny objímky pro spojení s manipulační nadstavbou.



Obr. 31 - Pevný rám podvozku

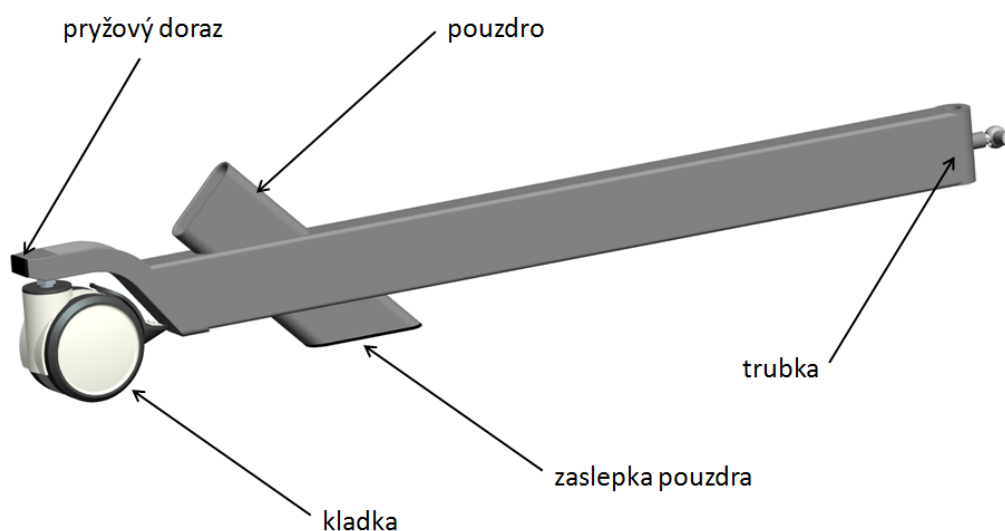
V zadní části jsou navařeny ramena pro uchycení otočné brzděné kladky s objednacím číslem LGDA-PYA 100 [15]. V tabulce 21 jsou zobrazeny její parametry. Tato kladka je přišroubována k rameni pomocí závitového čepu, umístěného na své horní části.

brzděná kladka LGDA-PYA 100G-RA	
průměr kola	100 mm
šířka kola	65 mm
nosnost	110 kg
celková výška	120 mm
připojovací rozměry	M12x15
vyložení kladky	33 mm
hmotnost	0,73 kg

Tab. 21 - Parametry brzděné kladky LGDA-PYA 100G-RA

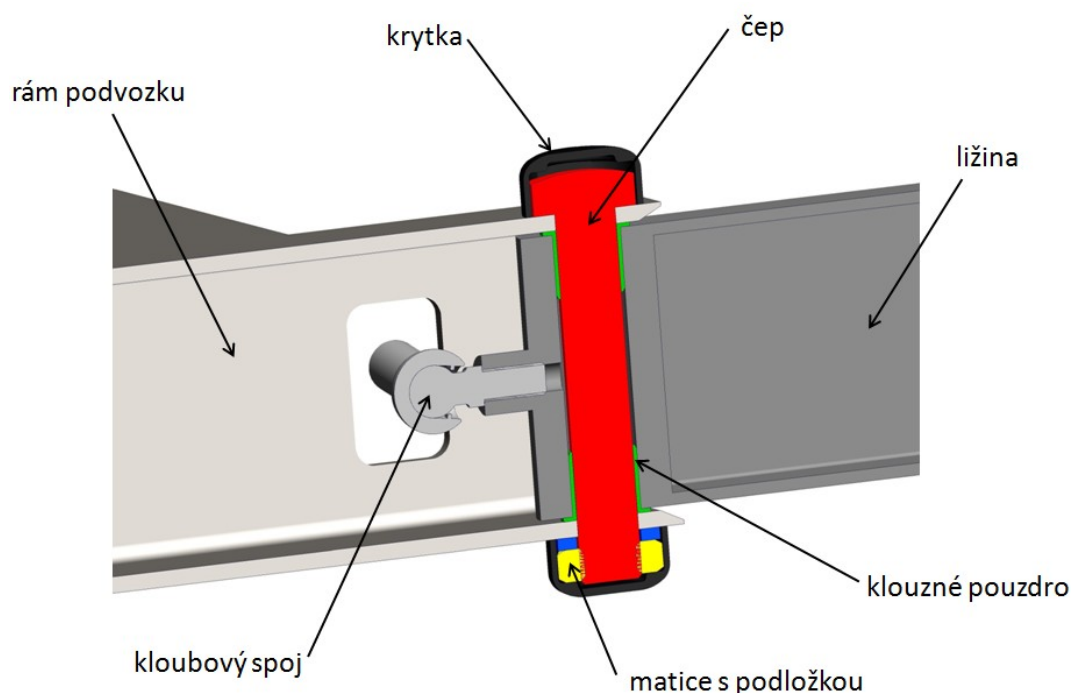
6.1.2 Ližiny

Hlavním prvkem ližiny je opět duralový jekl, na který je navařeno pouzdro pro nasunutí uchopovacího mechanismu (kap. 6.2). Na konci ližiny, tak jako u pevného rámu, je našroubována otočná kladka. Konec ližin je navíc chráněn pryžovým dorazem, aby nedošlo k nárazu do vany, či jiného objektu a jeho poškození. Na opačné straně je jekl spojen s trubicí pro uchycení k rámu podvozku.



Obr. 32 - Ližina podvozku

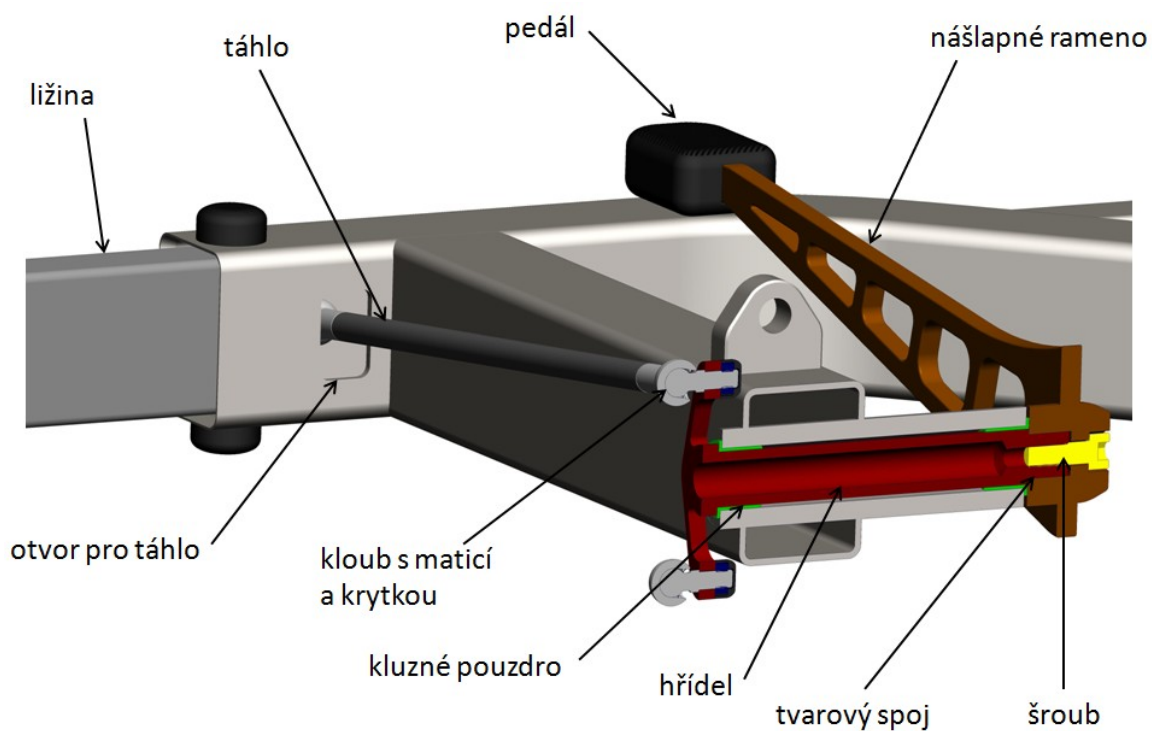
Ližina je s podvozkiem spojena čepem a kluznými pouzdry firmy Hennlich [16]. Čep je utažen maticí s podložkou. Matice s podložkou a hlava čepu je chráněna krytkou. K ližině je dále přišroubován kloubový spoj [17], který propojí ližinu s mechanismem roztažení ližin.



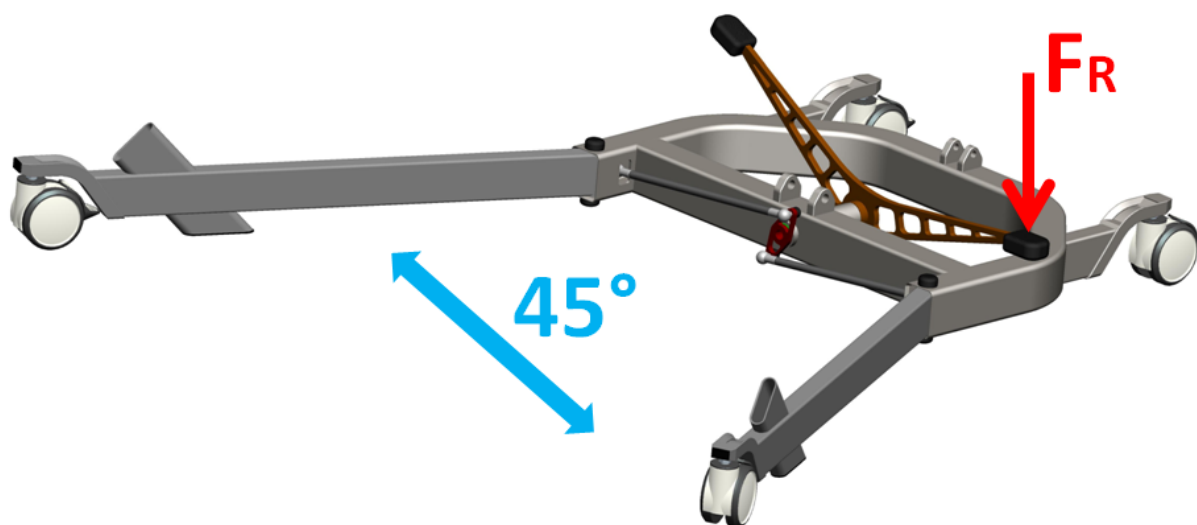
Obr. 33 - Uložení ližin v rámu

6.1.3 Mechanismus roztažení ližin

Aby při nakládání pacienta na manipulátor, např. z vozičku, bylo dostatek místa mezi ližinami, jsou ližiny roztažitelné až do úhlu 45° . A to díky mechanismu roztažení ližin, který se skládá z nášlapného ramene, hřídele a táhla. Rameno je nasunuto na hřídel a díky tvarovému spoji je přenášen krouticí moment. Hřídel je uložena v rámu podvozku na kluzných pouzdrech. Rameno hřídel je dále spojeno přes kloubový spoj s táhlem a to je na svém druhém konci spojeno, opět kloubovým spojem, s ližinou. Pro táhlo musel být v rámu podvozku zhotoven otvor.

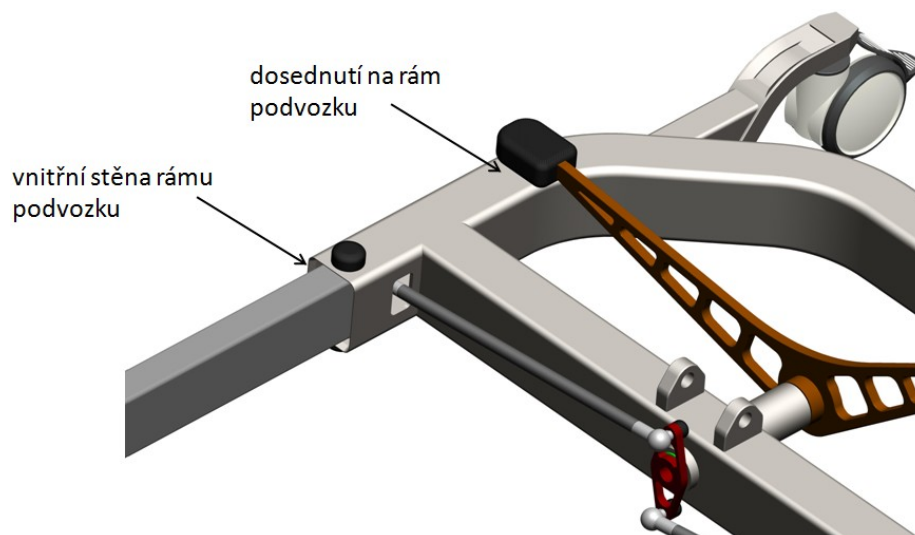


Obr. 34 - Mechanismus roztažení ližin



Obr. 35 - Roztažení ližin

Při nulovém roztažení ližin je doraz zajištěn dosednutím pedálu na podvozek. Maximální rozevření je omezeno dorazem na vnitřní stěnu jeklu podvozku. Na obr. č. 36 jsou naznačeny tyto místa.



Obr. 36 - Dorazy ližiny

Pro tento mechanismus je vypočtena potřebná síla, kterou musí obsluha vyvinout nohou, pro roztažení ližin. Nejprve jsou vypočteny reakce v brzděných kladkách podvozku.

Zadané hodnoty

$c = 335 \text{ mm}$	$r = 45 \text{ mm}$
$d = 557 \text{ mm}$	$\xi = 2 \text{ mm}$
$e = 605 \text{ mm}$	$m_{OM} = 120 \text{ kg}$
$f = 912 \text{ mm}$	$m_M = 68,5 \text{ kg}$
$h = 43 \text{ mm}$	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Pro výpočet síl působících v kladkách, musíme znát sílu od tíhy objektu manipulace a samotné tíhy manipulátoru:

$$F_{OM} = m_{OM} \cdot g = 120 \cdot 9,81 = \underline{\underline{1171,2 \text{ N}}} \quad (2)$$

Kde:

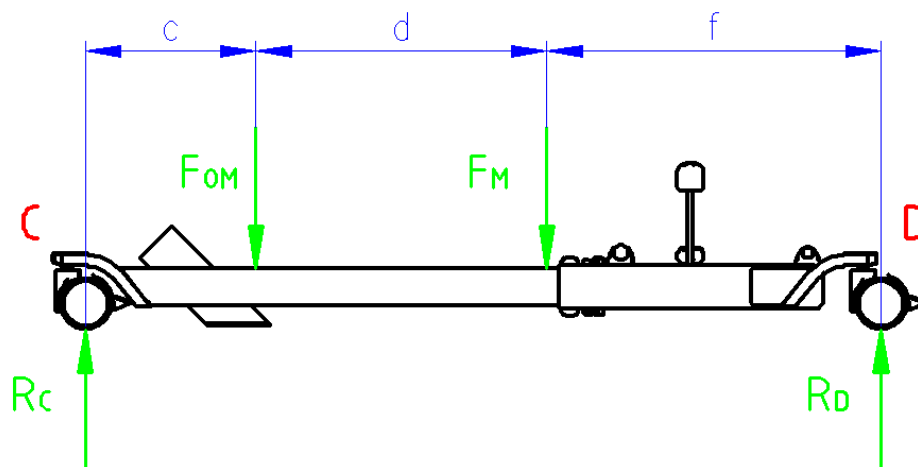
- F_{OM} je síla z objektu manipulace
- m_{om} je hmotnost objektu manipulace
- g je gravitační zrychlení

$$F_M = m_M \cdot g = 68,5 \cdot 9,81 = \underline{\underline{671,99 \text{ N}}} \quad (3)$$

Kde:

- F_M je síla od konstrukce manipulátoru
- m_M je hmotnost konstrukce manipulátoru

Následně z momentové podmínky můžeme určit velikost reakce v místě C ((4) přední kladky podvozku), dle obrázku 37. Reakci v místě D není třeba dopočítávat. Vzdálenosti působení sil byly odečteny z programu Pro/ENGINEER a to v poloze, kdy je těžiště pacienta umístěného na sedačce, nejbližší předním kladkám. Tehdy bude síla na předních kladkách největší. Sedačka je při této situaci přibližně ve výšce 450 mm a spodní aktuátor je v nulovém zdvihu. Tento aktuátor je v provozu pouze při naklápění nad vanu.



Obr. 37 - Zatížení podvozku

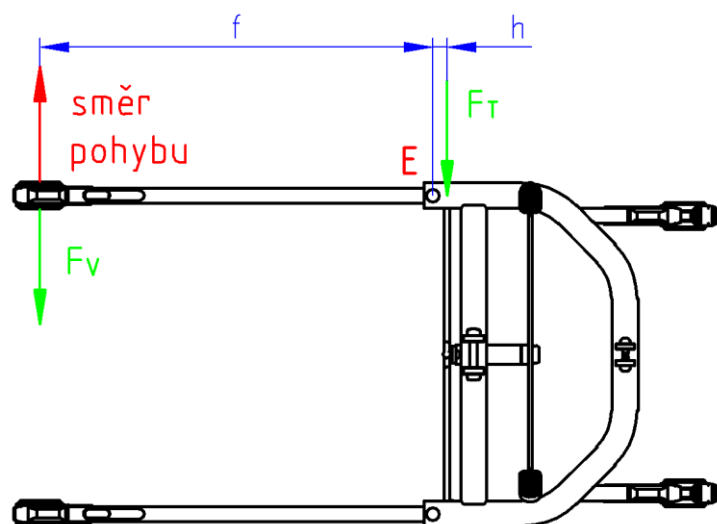
$$M_D : 0 = R_C \cdot (c + d + e) - F_{OM} \cdot (d + e) - F_M \cdot (e) \Rightarrow R_C = \frac{F_{OM} \cdot (d + e) + F_M \cdot e}{c + d + e} =$$

$$= \frac{1171,2 \cdot (557 + 605) + 671,99 \cdot 605}{335 + 557 + 605} = \underline{\underline{1180,69 \text{ N}}} \quad (4)$$

Tato síla působí na obě přední kladky, při symetrickém zatížení podvozku můžeme sílu na jedné kladce vypočítat následovně:

$$F_K = \frac{R_C}{2} = \frac{1185,3}{2} = \underline{\underline{592,65 \text{ N}}} \quad (5)$$

Z této síly vypočteme sílu valivého tření kladky $F_V(6)$, která bude působit proti směru rozevření ližin (obr. 38). Hodnota součinitele valivého tření ($\xi = 2 \text{ mm}$) je zvolena pro materiály polymer-ocel [18]. Ve skutečnosti se bude jednat o koupelnovou dlažbu a plastovou otočnou kladku, ale nebyla nalezena tato kombinace materiálů, proto jsou zvoleny výše uvedené.



Obr. 38 - Rovnováha momentů v místě E

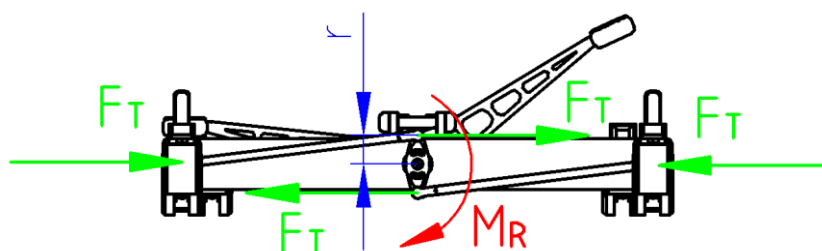
$$F_V = \xi \cdot \frac{F_K}{R} = 2 \cdot \frac{592,65}{50} = \underline{\underline{23,71 \text{ N}}} \quad (6)$$

Kde: - ξ součinitel valivého tření
 - R je poloměr kladky

Ližina, na které je umístěna otočná kladka, je ovládána táhlem, které je na svém druhém konci spojeno s hřídelí. Sílu v táhlu F_T vypočteme z výše uvedeného obrázku 38 z rovnováhy momentů v místě E.

$$M_E : 0 = F_T \cdot h - F_V \cdot f \Rightarrow F_T = \frac{F_V \cdot f}{h} = \frac{23,71 \cdot 912}{43} = \underline{\underline{502,87 \text{ N}}} \quad (7)$$

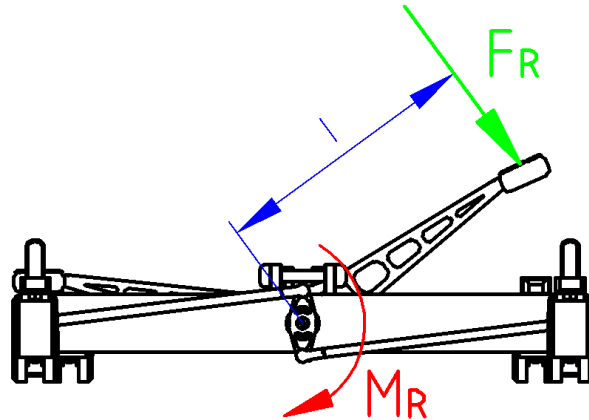
Na hřídel působí dvě tyto síly (obr. 39), od každé z ližin. Z těchto sil vypočteme krouticí moment na hřídeli M_R (8).



Obr. 39 - Moment roztažení ližin

$$M_R = 2 \cdot F_T \cdot r = 2 \cdot 502,87 \cdot 45 = \underline{\underline{45258,3 \text{ N} \cdot \text{mm}}} \quad (8)$$

Na druhém konci hřídele jsou umístěna ramena s pedály pro obsluhu. Jelikož už známe moment na hřídeli, můžeme jednoduše dopočítat potřebnou sílu na rameni (9), když známe jeho délku.



Obr. 40 - Síla roztažení ližin

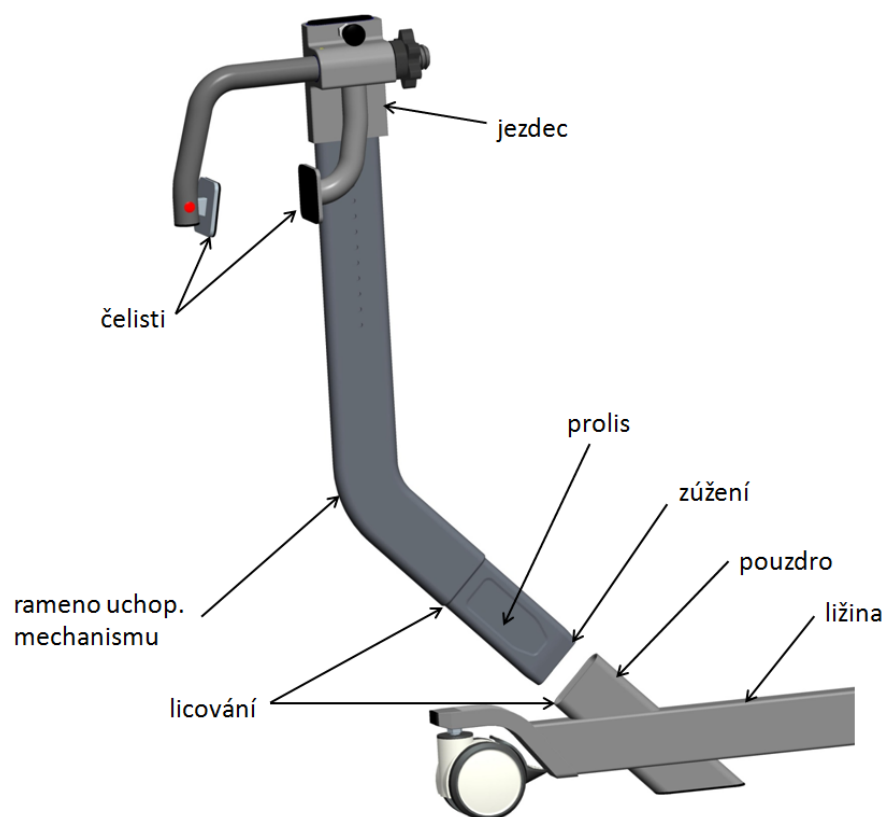
$$M_R = F_R \cdot l \Rightarrow F_R = \frac{M_R}{l} = \frac{42258,3}{375} = \underline{\underline{120,69 \text{ N}}} \quad (9)$$

Kde: - F_R je potřebná síla pro roztažení ližin
 - l je délka nášlapného ramene

V této síle není započteno tření v jednotlivých kloubech, výsledná síla bude tedy ještě o něco větší. Odhadem by síla neměla překročit hodnotu 150 N. Tato síla odpovídá přibližně tíze patnácti kilům, roztažení ližin by tedy nemělo být pro obsluhu problémem. Síla se bude samozřejmě měnit s velikostí zatížení manipulátoru.

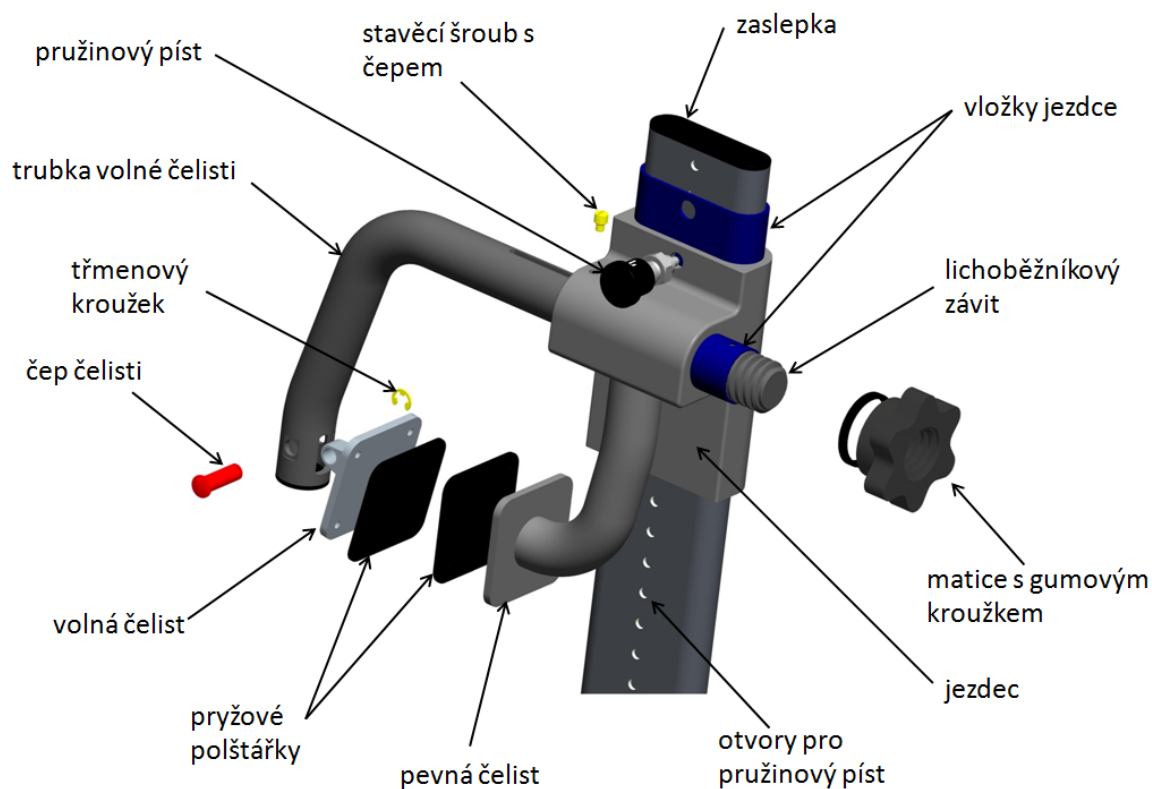
6.2 Uchopovací mechanismus

Tento mechanismus je umístěn v pouzdru na přední části obou ližin podvozku. V případě potřeby je možné jej jednoduše vyndat. Spodní část profilu ramene je vytvarovaná tak, aby zbylá část lícovala s pouzdem. Pro snadnější zasouvání do pouzdra je konec profilu zúžen a na ploše před zúžením je vytvořen tvarový prolis pro zmenšení tření při vysouvání-zasouvání ramena do pouzdra.



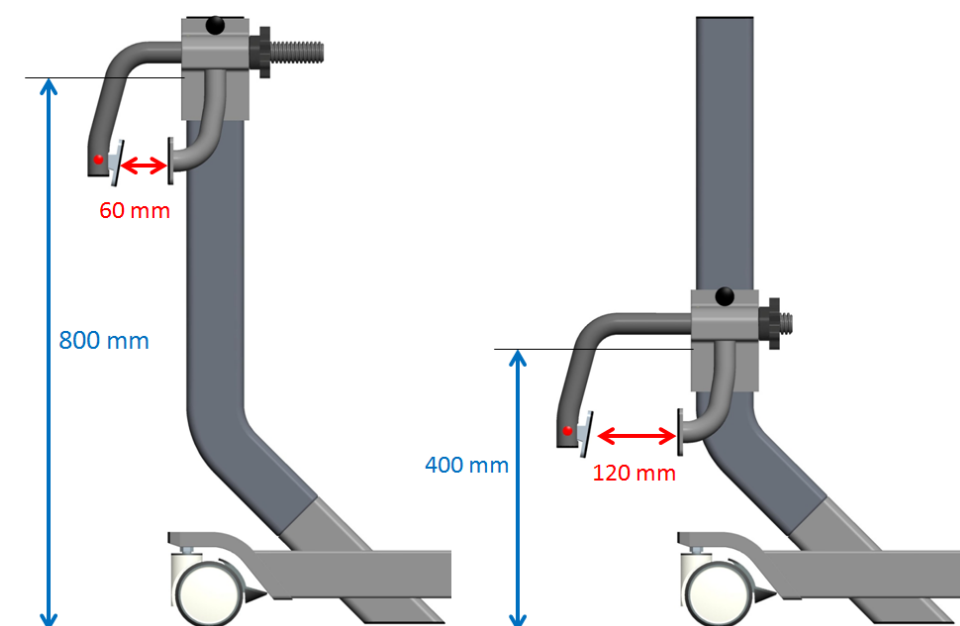
Obr. 41 - Propojení ližiny s uchopovacím mechanismem

Na rameni je umístěn jezdec s čelistmi. Jezdec drží svou polohu pomocí pružinového pístu [17], jehož výsuvný čep je umístěn v otvoru ramene. Těchto otvorů je vytvořeno 20 s roztečí 20 mm, rozsah uchopovací výšky čelistí je tedy 400 mm (obr. 43). Tělo pružinového pístu je našroubováno na jezdcí. Při potažení pístu směrem k obsluze se čep vysune z otvoru. Díky vodící drážce zůstane čep vysunutý z otvoru. Při nastavení jezdce (čelistí) na požadovanou výšku se píst uvolní a čep zajede po manuální korekci do nejbližšího otvoru na rameni. Pevné uchycení stěny vany čelistmi je zajištěno šroubováním a dolehnutím matice na jezdec. Matice má na svém čele gumový kroužek proti otěru.



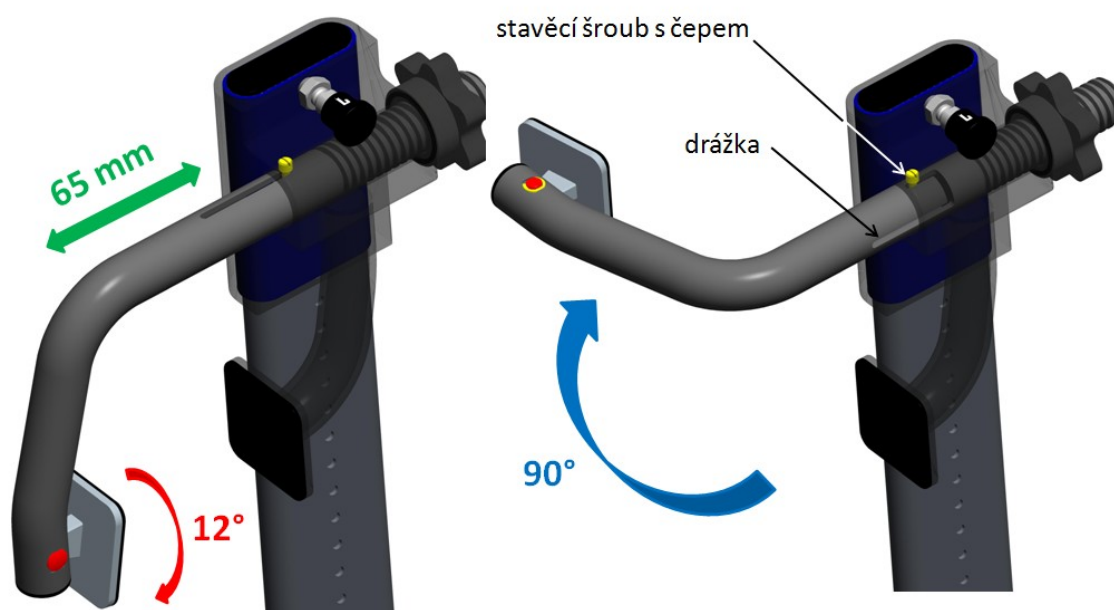
Obr. 42 - Konstrukce uchopovacího mechanismu

Konstrukce ramene umožňuje uchycení van s výškou od 400 do 800 mm a tloušťkou stěny 60 až 120 mm. Tyto rozmezí vychází s průzkumu trhu van na internetu a praktického měření v domácnosti a rehabilitačního zařízení.



Obr. 43 - Vymezení parametrů van

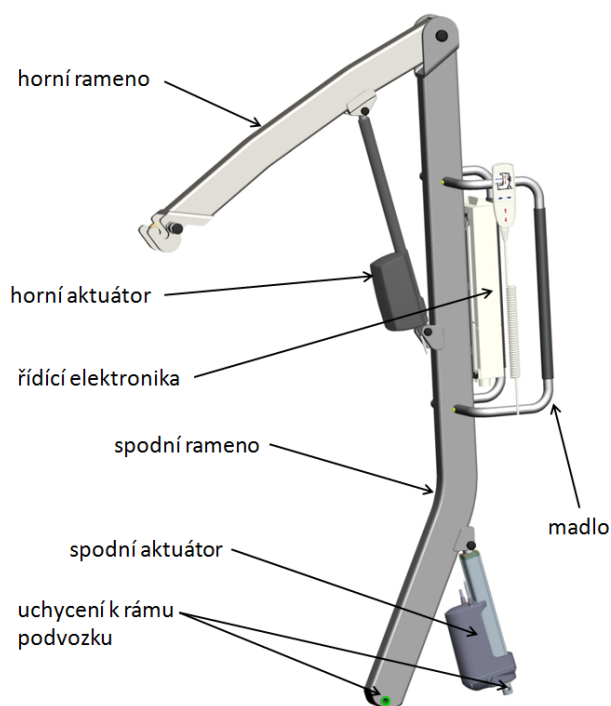
Díky drážce v trubce volné čelisti a stavěcího šroubu s čepem, lze s volnou čelistí pohybovat pouze v daném rozmezí. A to ve směru šířky stěny vany 65 mm (5 mm rezerva), pootočení o 90° a zajištění v této poloze, z důvodu překonání maximální možné výšky vany. Volná čelist se dá naklopit v rozmezí 12°, jelikož sklon vnitřních stěn van není vždy stejný. Volná čelist se tedy přizpůsobí.



Obr. 44 - Možnosti pohybu volné čelisti

6.3 Manipulační nadstavba

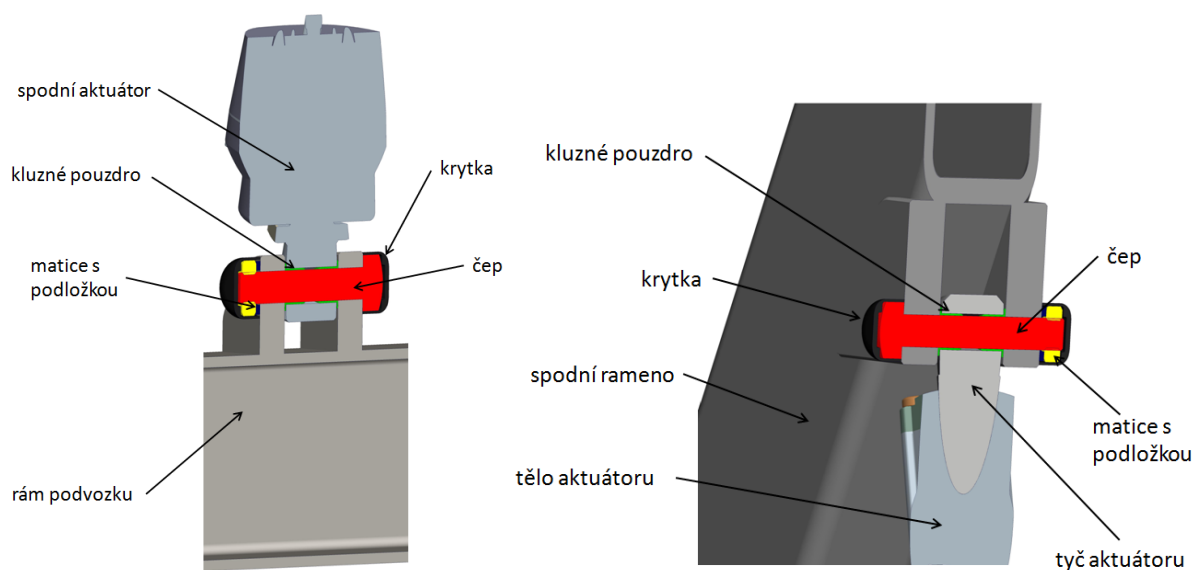
Manipulační nadstavba je tvořena dvěma rameny, dvojicí aktuátorů, řídicí elektronikou a madly pro obsluhu. Ramena jsou tvořena duralovými jekly.



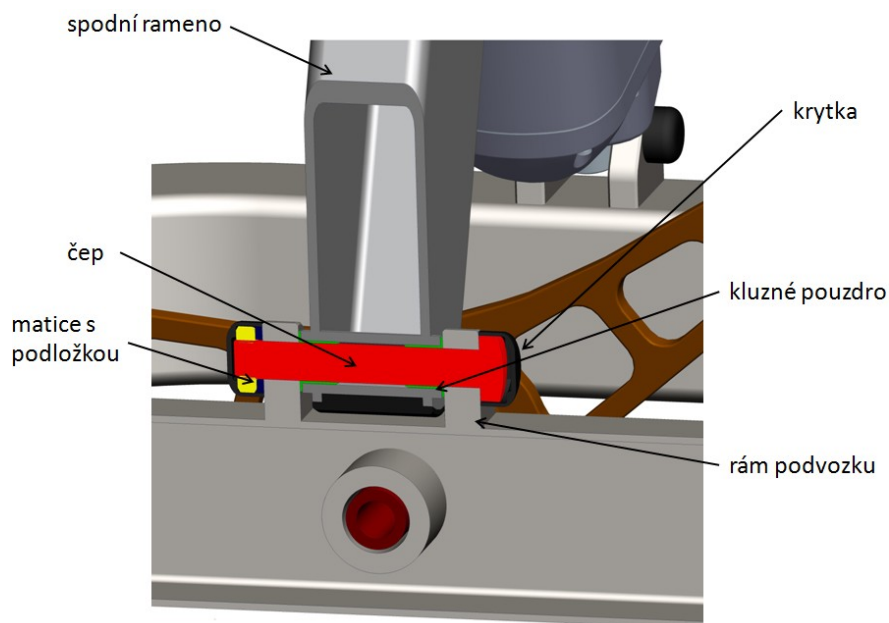
Obr. 45 - Manipulační nadstavba

6.3.1 Spodní rameno

Rameno je ve své spodní části spojeno s rámem podvozku manipulátoru (obr. 47). Kolem tohoto kloubu se bude rameno natáčet vůči podvozku pomocí spodního aktuátoru. Aktuátor je na jednom konci spojen s podvozkem a na druhém se spodním ramenem pomocí čepů, kluzných pouzder a matice s podložkou, podobně jako u uložení ližiny.

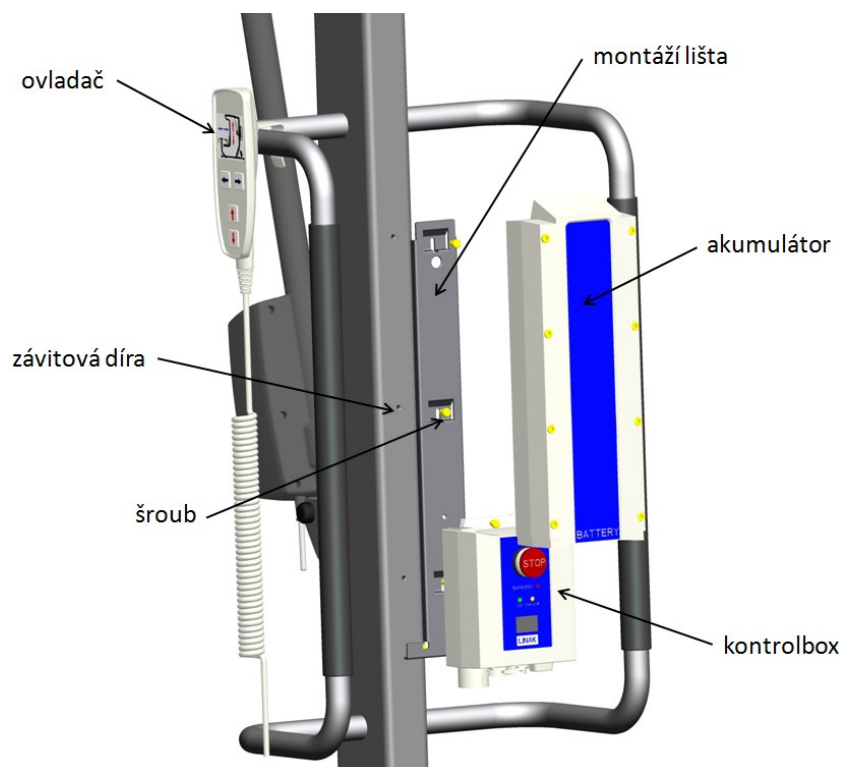


Obr. 46 - Uložení spodního aktuátoru na rámu a spodním ramením



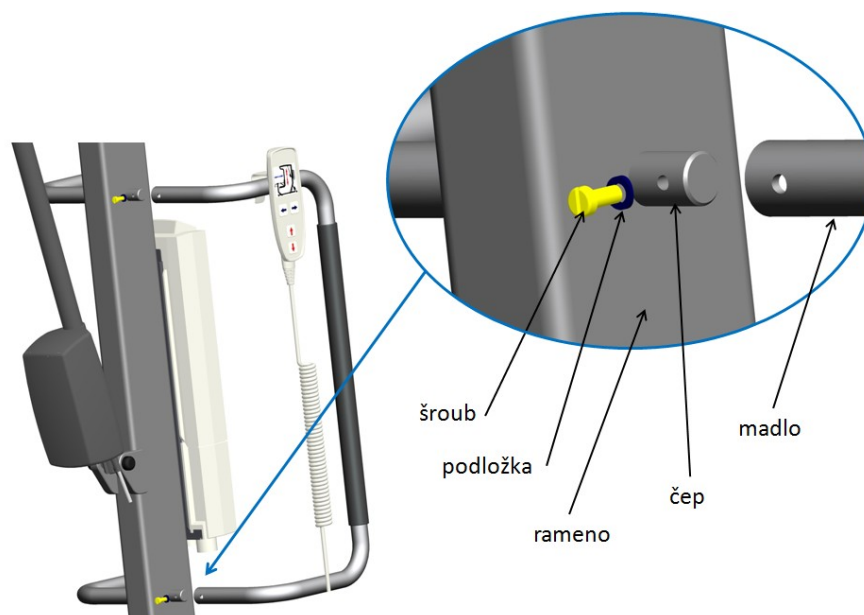
Obr. 47 - Uložení spodního aktuátoru na spodním rameni

Pomocí montážní lišty a šroubů je k ramenu namontována řídící elektronika skládající se z kontrolboxu (řídící jednotky) a akumulátoru. Pro řízení aktuátorů je doplněna elektronika o ruční ovladač pro obsluhu. Tento ovladač je volně zavěšen na madlu.



Obr. 48 - Uchycení řídící elektroniky

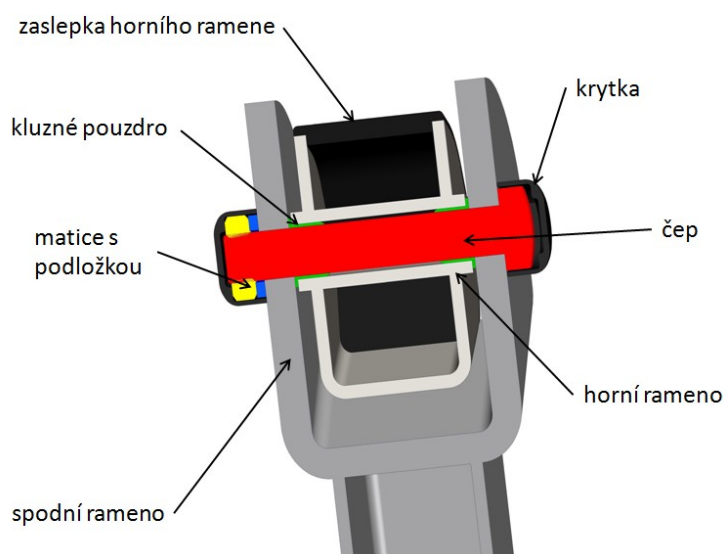
Aby mohla obsluha se zvedákem snadno manipulovat, je spodní rameno opatřeno dvojicí madel s pěnovou rukojetí. Na rameni jsou navařeny čepy, na které se madla nasunou a pomocí šroubů s podložkami zajistí.



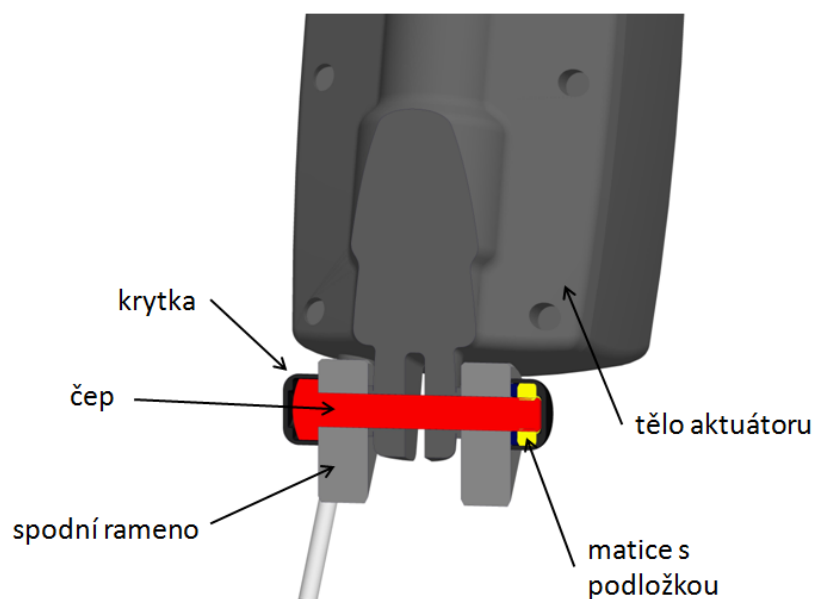
Obr. 49 - Uchycení madel

6.3.2 Horní rameno

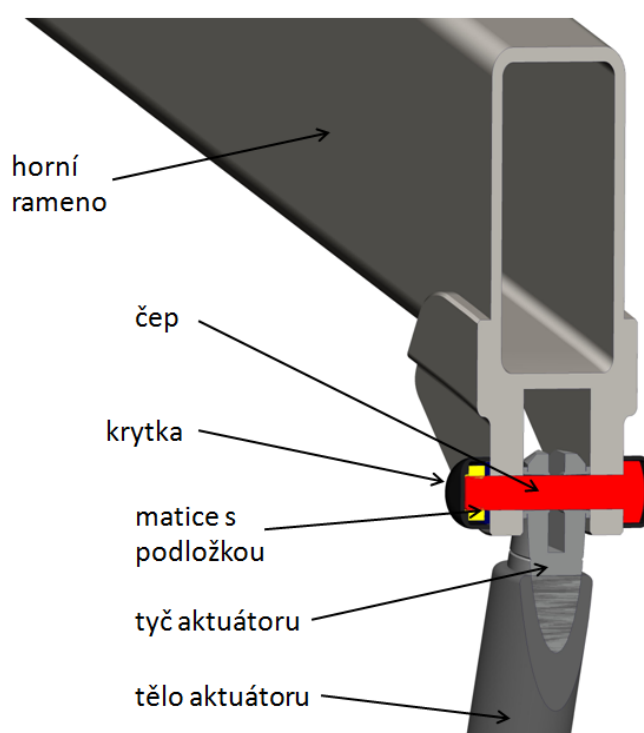
Je uloženo na vrcholu spodního ramene (obr. 50). Naklápění těchto ramen vůči sobě zajišťuje horní aktuátor. Ten je ve spodní části uchycen k objímce spodního ramene (obr. 51) a na druhém konci k hornímu rameni (obr. 52). K tomuto aktuátoru jsou dodávány kluzná pouzdra od výrobce na rozdíl od spodního aktuátoru.



Obr. 50 - Uložení ramen

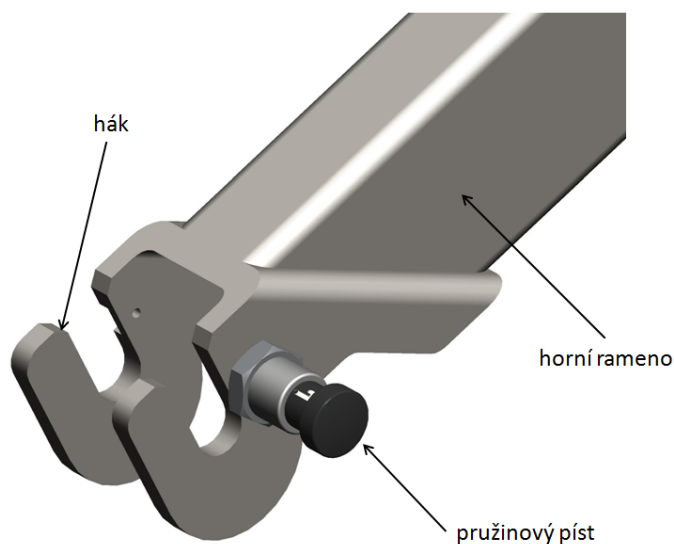


Obr. 51 - Uložení horního aktuátoru na spodním rameni



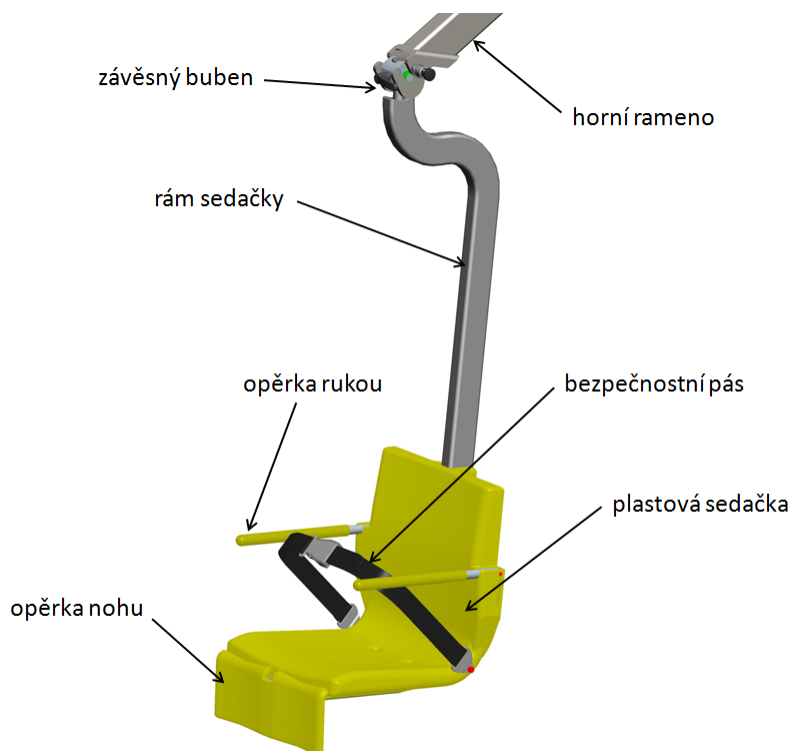
Obr. 52 - Uložení horního aktuátoru na horním rameni

Na konci ramene je vytvořené hák, na který se zavěsí konstrukce pevné sedačky. Na háku je našroubován pružinový píst, který slouží k ustálení sedačky v pevné poloze. Princip pružinového pístu viz str. 53.

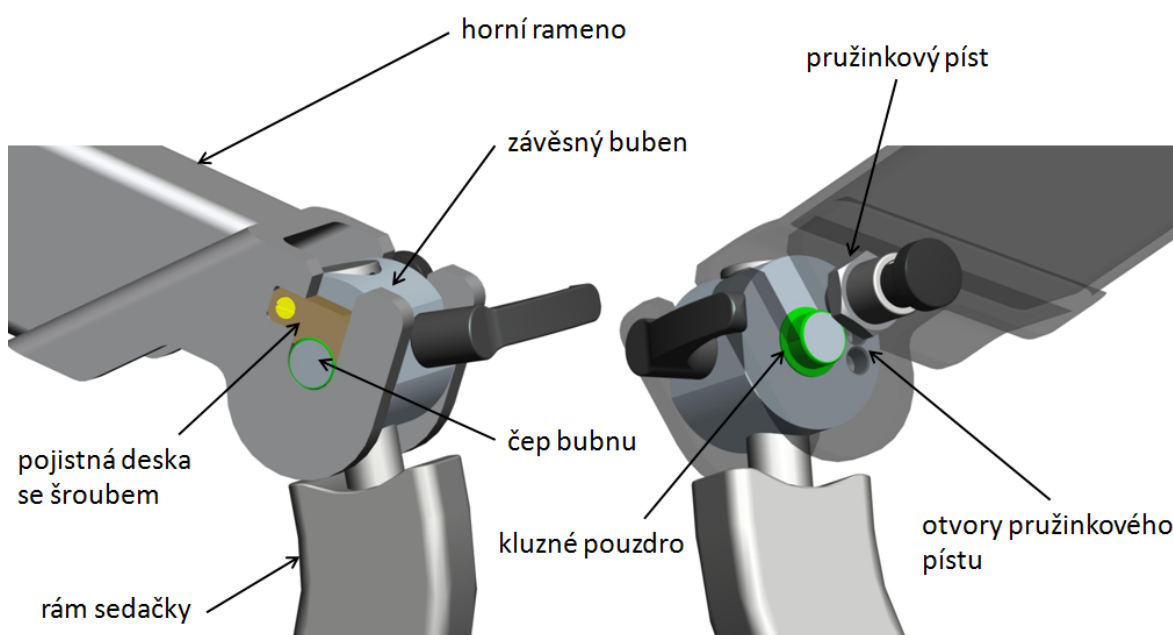
*Obr. 53 - Háček horního ramene*

6.4 Pevná sedačka

Sedačka je zavěšena na konci horního ramene pomocí závěsného bubnu. Rám je tvořen jeklem z nerezové oceli, jelikož bude vystaven přímému působení vody. Plastová sedačka má rozměry pro sezení (D x Š x V): 410 x 400 x 420. Celková šířka sedačky je 450 mm, což by nemělo činit problém při vložení do jakékoliv vany. Sedačka je nasunuta na rám a připevněna šroubem.

*Obr. 54 - Pevná sedačka*

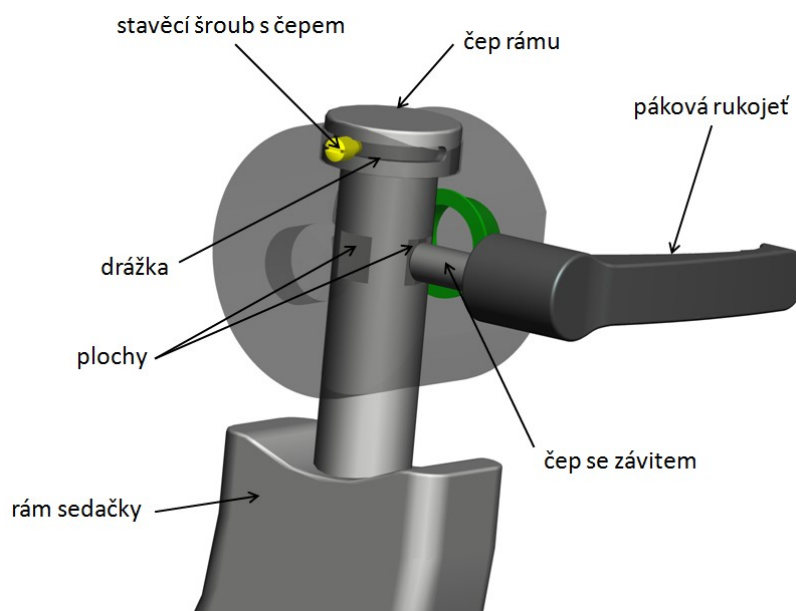
Na obrázku 55 je detailně vidět zavěšení sedačky na rameni. Čep bubnu je zasunut do háku ramene a na jedné straně je zajištěn pojistnou deskou, aby se sedačka nemohla z ramene vysunout. Z druhé strany je našroubován pružinový píst, jehož čep se může zasunout do jednoho ze tří otvorů umístěných na bubnu. Zasunutím čepu do otvoru docílíme zastavení rotace sedačky v ose bubnu. Sedačka je tedy připravená na nasednutí. Tři otvory umožňují tři výšky nasednutí pro pacienta: ze země (100 mm), z invalidního vozíku (470 mm) a z postele (800 mm).



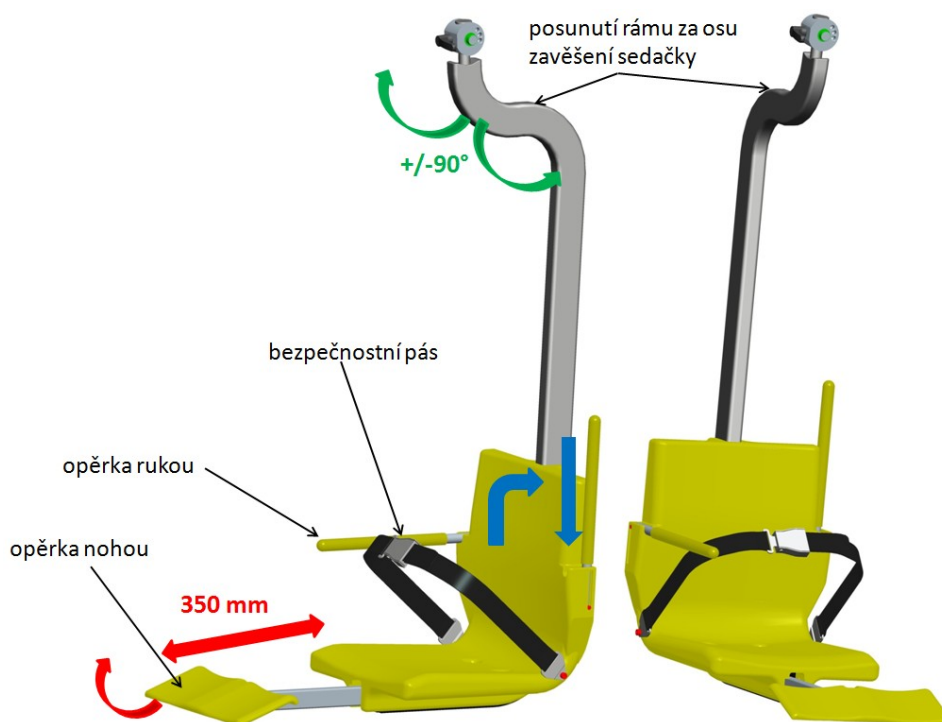
Obr. 55 - Zavěšení sedačky I

V bubnu je umístěn čep rámu, ve kterém je vytvořena drážka pro stavěcí šroub s čepem (obr. 56). Velikost drážky v hlavě čepu umožňuje natáčení sedačky ze základní pozice o 90° na obě dvě strany (viz obr. 57). K zabránění pohybu v poloze při otočení o tento úhel, také i v základní poloze, slouží páková rukojeť [17] se závitovým čepem, který je našroubován do průchozí díry v bubnu. Při úplném zašroubování dosedne čelo závitového čepu na plochu vyrobenou na obvodu čepu rámu (obr. 56).

Pacient na sedačce v základní poloze zatěžuje manipulátor symetricky. Aby bylo symetrické zatížení zajištěno i při otočení sedačky s pacientem o 90°, vytažení opěrky a natažení nohou, je konstrukce rámu posunuta za osu zavěšení sedačky na horním rameni (obr. 57).



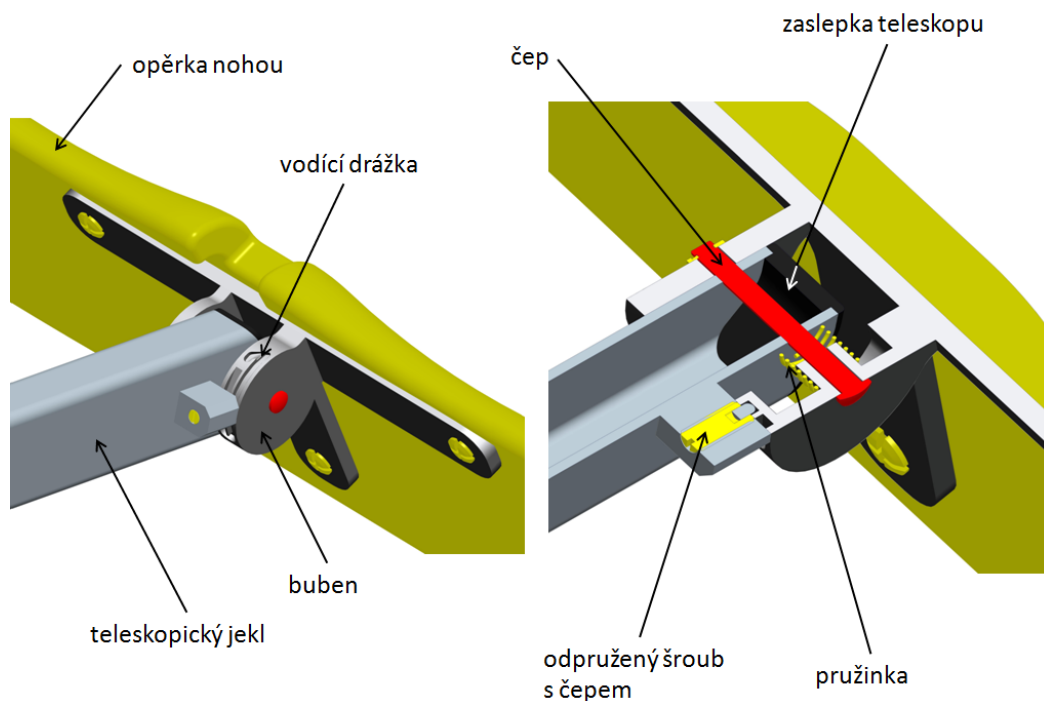
Obr. 56 - Zajištění sedačky



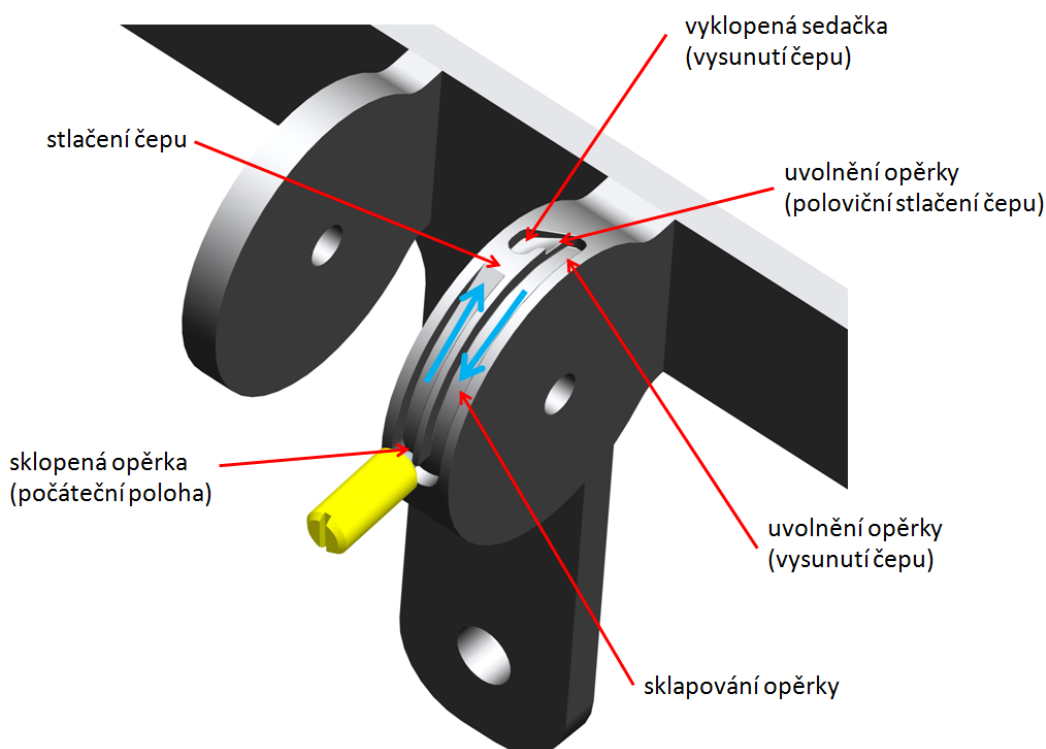
Obr. 57 - Možnosti sedačky

Sedačka je opatřena bezpečnostními prvky v podobě opěrek rukou a pásu. Opěrky rukou se dají, v případě potřeby, zaklopit a zasunout do sedačky (obr. 57). Bezpečnostním pásem [19] se pacient připoutá k sedačce, aby nedošlo k jeho vypadnutí při manipulaci. V přední části sedačky je umístěna teleskopická opěrka nohou, kterou je možno vysunout až o 350 mm a vyklopit. Pacient tak bude mít nohy ve vodorovné poloze a nebudou překážet při překonání stěny vany.

Vyklopení a držení opěrky nohou ve vodorovné poloze je zajištěno odpruženým šroubem s čepem [17], který je umístěn ve vodící drážce bubnu teleskopu. Buben se otáčí kolem čepu teleskopu. Pružinkou [16] je buben tlačěn od teleskopického jeklu, aby se čep šroubu dostal do výchozí polohy (obr. 59).



Obr. 58 - Vyklápečí mechanismus



Obr. 59 - Vodící drážka bubnu

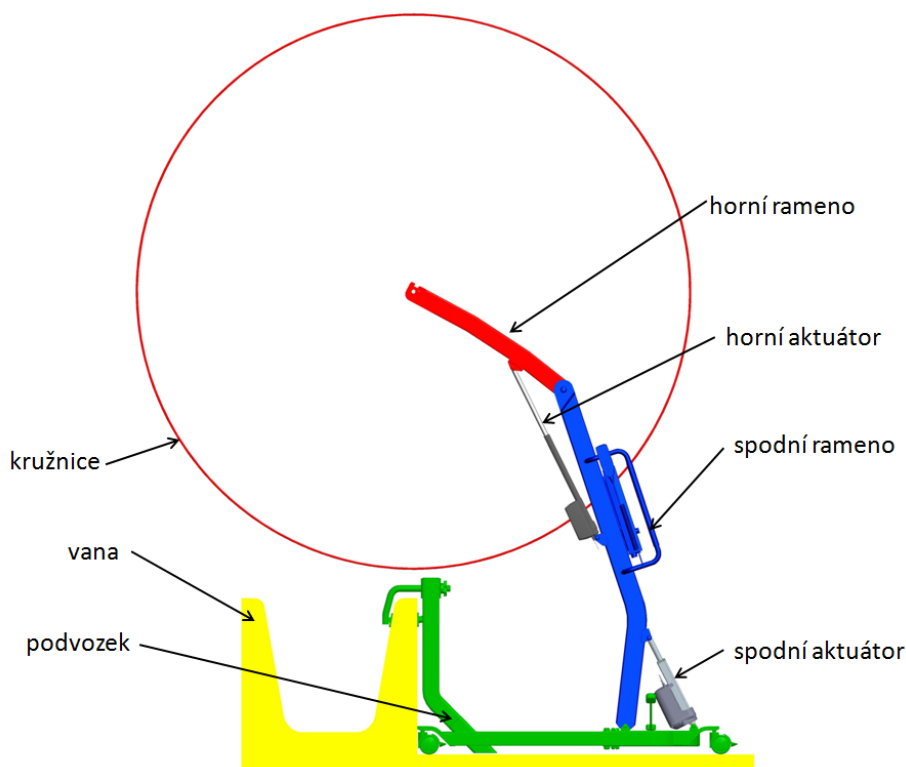
6.5 Návrh pohonné a řídicí elektroniky

V kapitole budou vybrány všechny komponenty pro správné fungování manipulátoru. Z ne příliš obsáhlého trhu této elektroniky pro zdravotnické využití, byla preferována firma Linak, která má zastoupení také v České republice. Z důvodu novátorského řešení konstrukce manipulátoru, byly vybrané komponenty konzultovány s pracovníky této firmy s ohledem na jejich kompatibilitu.

6.5.1 Dynamická analýza

Pro určení sil v aktuátorech a kloubech ramen byla vytvořena a nadefinována dynamická analýza v prostředí programu Pro/ENGINEER Mechanism.

Jednotlivé podsestavy sestavy manipulátoru byly uloženy jako jeden part, aby bylo při sestavování modelu pro analýzu co nejméně vazeb a bylo tak jednodušší dosáhnout redundance 0. Což je ideální stav počtu vazeb a jejich typů v sestavě, aby proběhl výpočet správně. Jednotlivé party sestavy jsou barevně odlišený. Sestava je doplněna modely aktuátorů, které se skládají ze dvou dílů (tělo a tyč) spojených vazbou translace (Slider). Dále jsou v sestavě použity vazby typu rotace (Pin) a ložisko (Bering).



Obr. 60 - Model dynamické analýzy

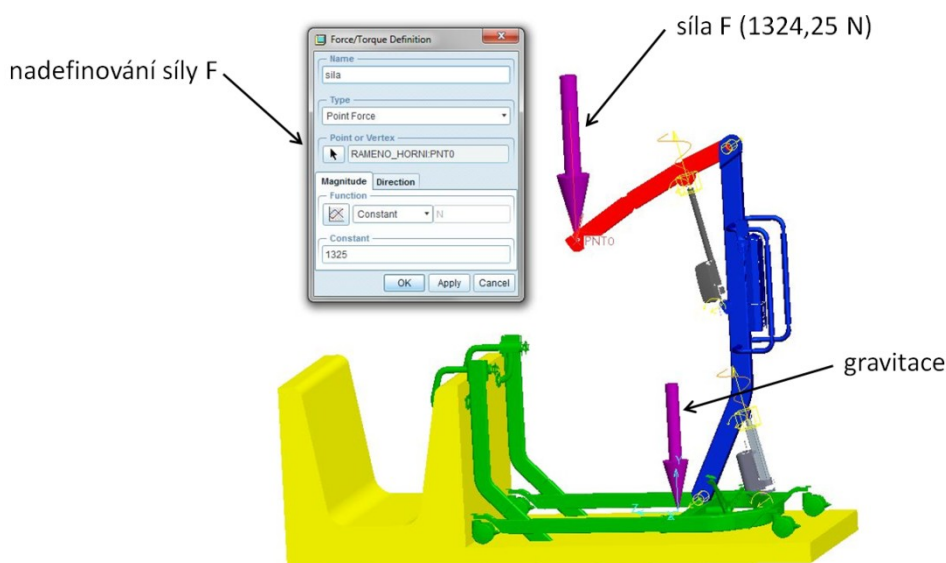
Do sestavy byl přidán model vany, který rozměry odpovídá vaně s největší výškou z průřezu trhu a skeleton v podobě kružnice o radiu 1430 mm a středu v místě uchycení sedačky. Tato hodnota odpovídá výšce sedačky manipulátoru. Pomocí těchto doplňků je vizuálně potvrzeno, v průběhu analýzy, překonání výšky vany manipulátorem (obr. 60).

V sestavě pro analýzu není vložena pevná sedačka, ta je nahrazena silou tíhy samotné sedačky (15 Kg) a maximální nosností manipulátoru 120 Kg. Zatěžující síla F (vzorec 10) má tedy hodnotu 1324,35 N. Síla je umístěná na konci horního ramene, v místě zavěšení sedačky. Kromě této síly na manipulátor působí tíha jeho konstrukce, která je zahrnuta díky správně nadefinované gravitaci.

Výpočet zatěžující síly F :

$$F = (m_{OM} + m_{PS}) \cdot g = (120 + 15) \cdot 9,81 = \underline{\underline{1324,35 \text{ N}}} \quad (10)$$

Kde: - m_{OM} je hmotnost objektu manipulace
- m_M je hmotnost manipulátoru

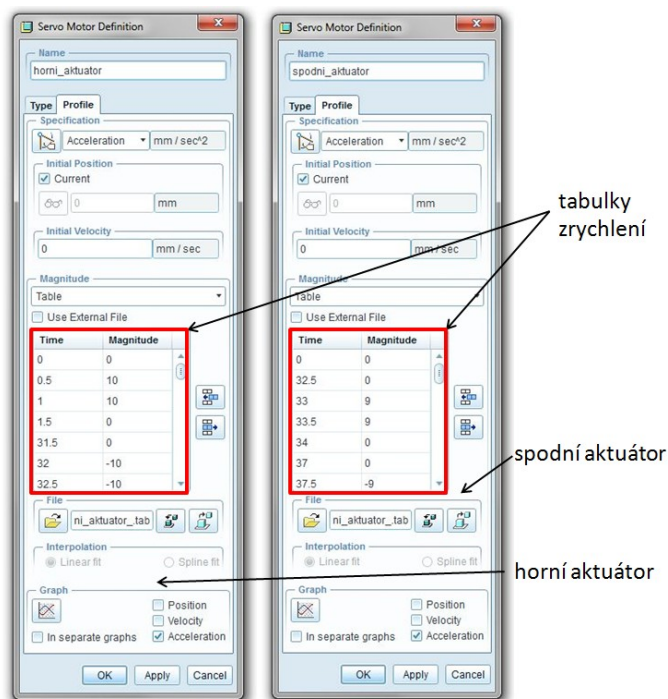


Obr. 61 - Nadefinování síly a gravitace

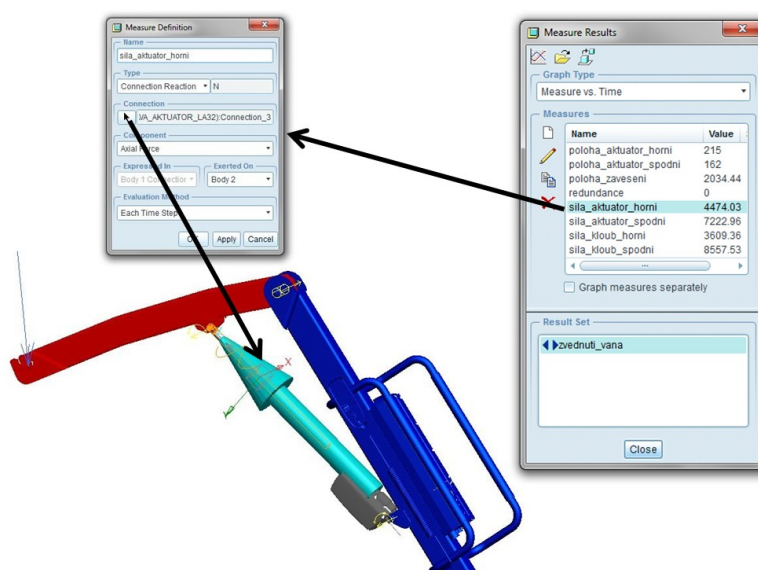
Pro rozpořbování modelu jsou použity dva motory, které jsou umístěny ve vazbách (Slider) sestav aktuátorů. Tyto pohony jsou definovány zrychlením na průměrnou rychlost dopředu zvolených aktuátorů firmy Linak. Konkrétně se jedná o aktuátory LA32 (7500 N, 24 V) a LA36 (10 000 N, 24V). Průměrná rychlost pohonu spodního aktuátoru LA36 je 9 mm/s a

rychlost horního aktuátoru LA32 je 10 mm/s. Pohony jsou nadefinovány tabulkami zrychlení (obr. 62, tab. 22) po mnoha pokusech tak, aby bylo simulováno co nejvíce reálné vložení sedačky do vany.

Na obrázku 63 je znázorněno nadefinování síly horního aktuátoru, která vykreslí svůj průběh v grafu 5.



Obr. 62 - Nadefinování pohonů



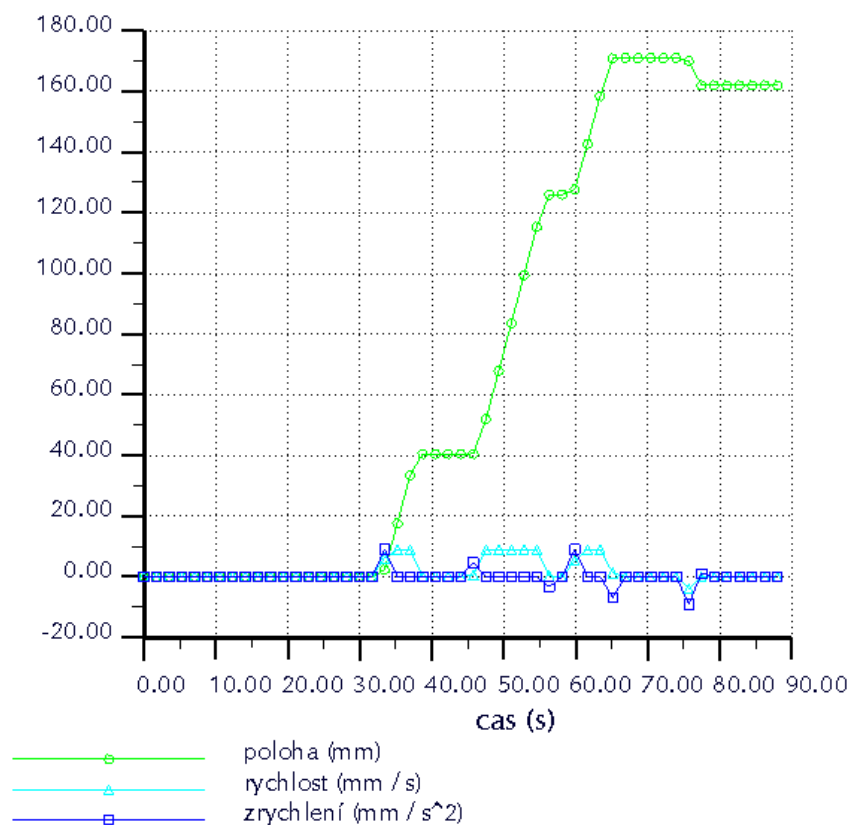
Obr. 63 - Nadefinování síly v horním aktuátoru

V tabulce 22 jsou vypsané jednotlivé zrychlení v čase z definice pohonů aktuátorů.

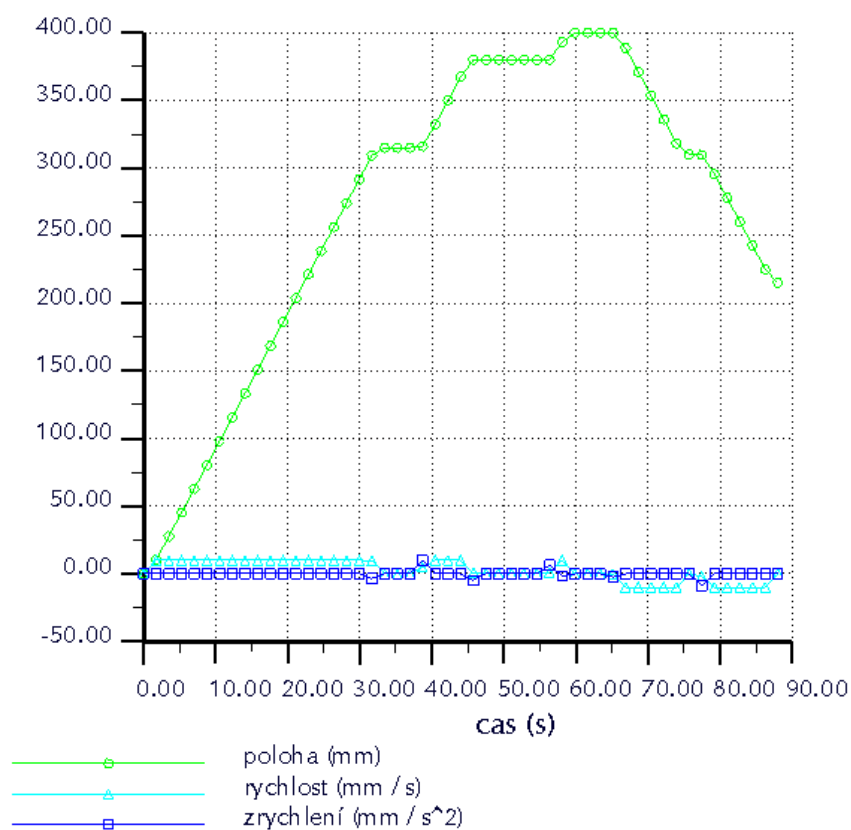
Zrychlování a zpomalování je vždy nastaveno na 0,5 s.

spodní aktuátor		horníh aktuátor	
čas [s]	zrychlení [mm/s ²]	čas [s]	zrychlení [mm/s ²]
0	0	0	0
32,5	0	0,5	10
33	9	1	10
33,5	9	1,5	0
34	0	31,5	0
37	0	32	-10
38	-9	32,5	-10
38,5	-9	33	0
45,5	0	38	0
46	0	38,5	10
46,5	9	39	10
47	9	39,5	0
55	0	44,5	0
55,5	0	45	-10
56	-9	45,5	-10
56,5	-9	46	0
59	0	56	0
59,5	0	56,5	10
60	9	57	10
60,5	9	57,5	0
64,5	0	58	0
65	0	58,5	-10
65,5	-9	59	-10
75	-9	59,5	0
75,5	0	65	0
76	0	65,5	-10
76,5	9	66	-10
77	9	66,5	0
77,5	0	74	0
88	0	74,5	10
		75	10
		75,5	0
		77	0
		77,5	-10
		78	-10
		78,5	0
		86,5	0
		87	10
		87,5	10
		88	0

Tab. 22 - Průběh zrychlení aktuátorů v čase

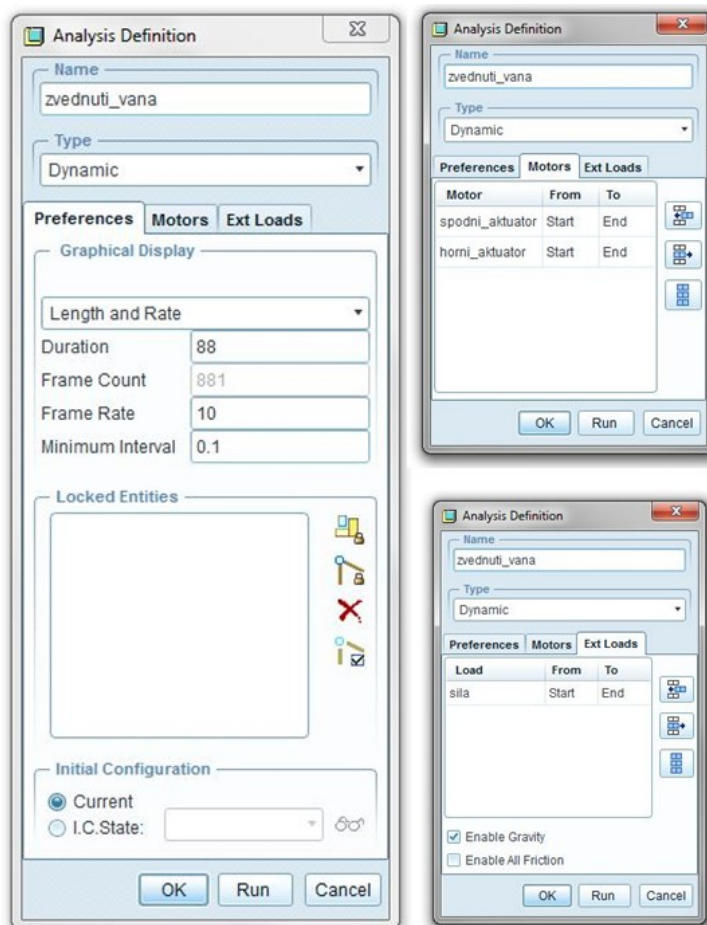


Graf 3 - Průběh zrychlení, rychlosti a polohy spodního aktuátoru LA36



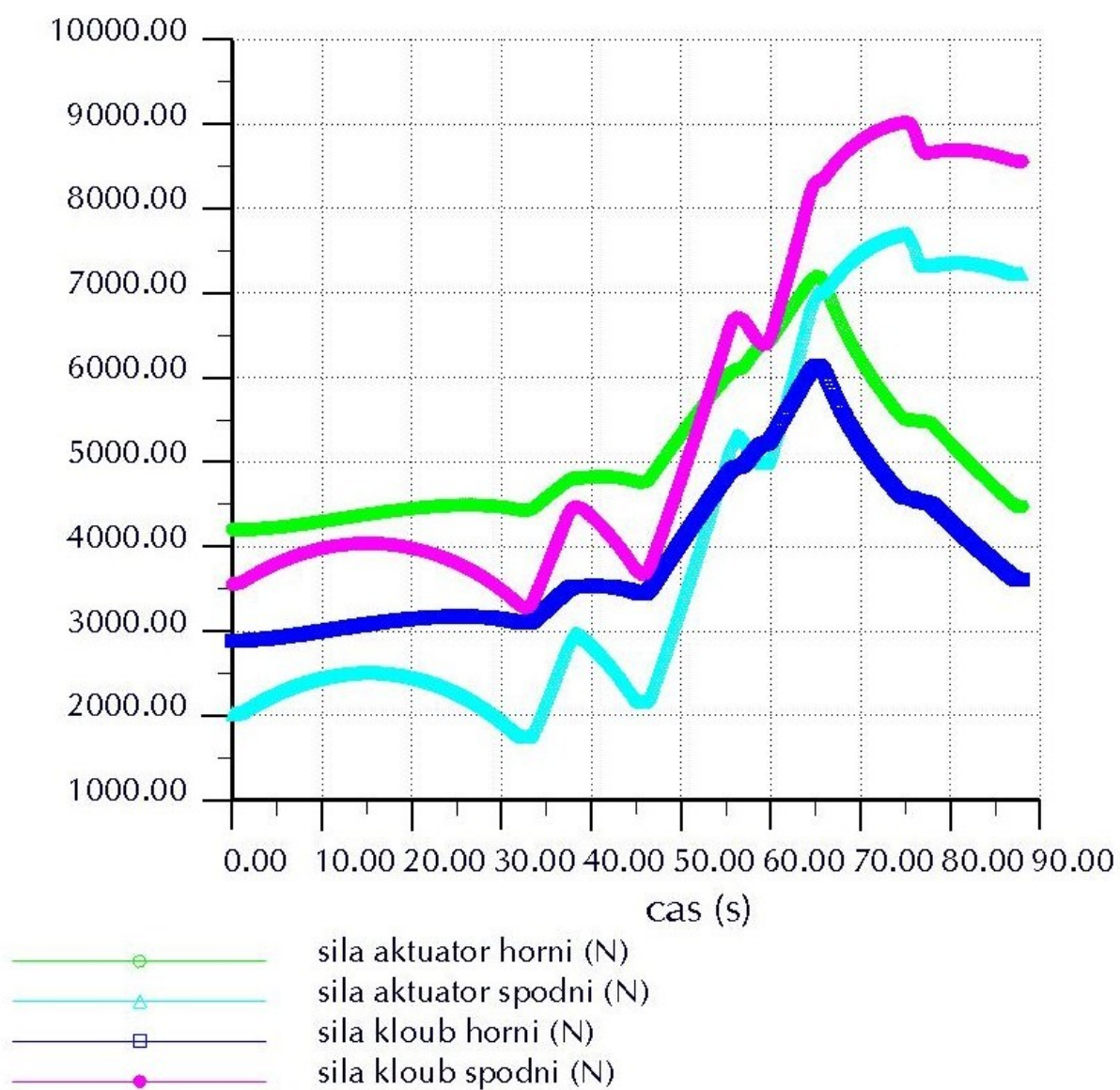
Graf 4 - Průběh zrychlení, rychlosti a polohy horního aktuátoru LA32

Čas analýzy je stanoven na 88 sekund se vzorkováním 1/10 sekundy. Do analýzy jsou zahrnuty oba pohony a gravitace.

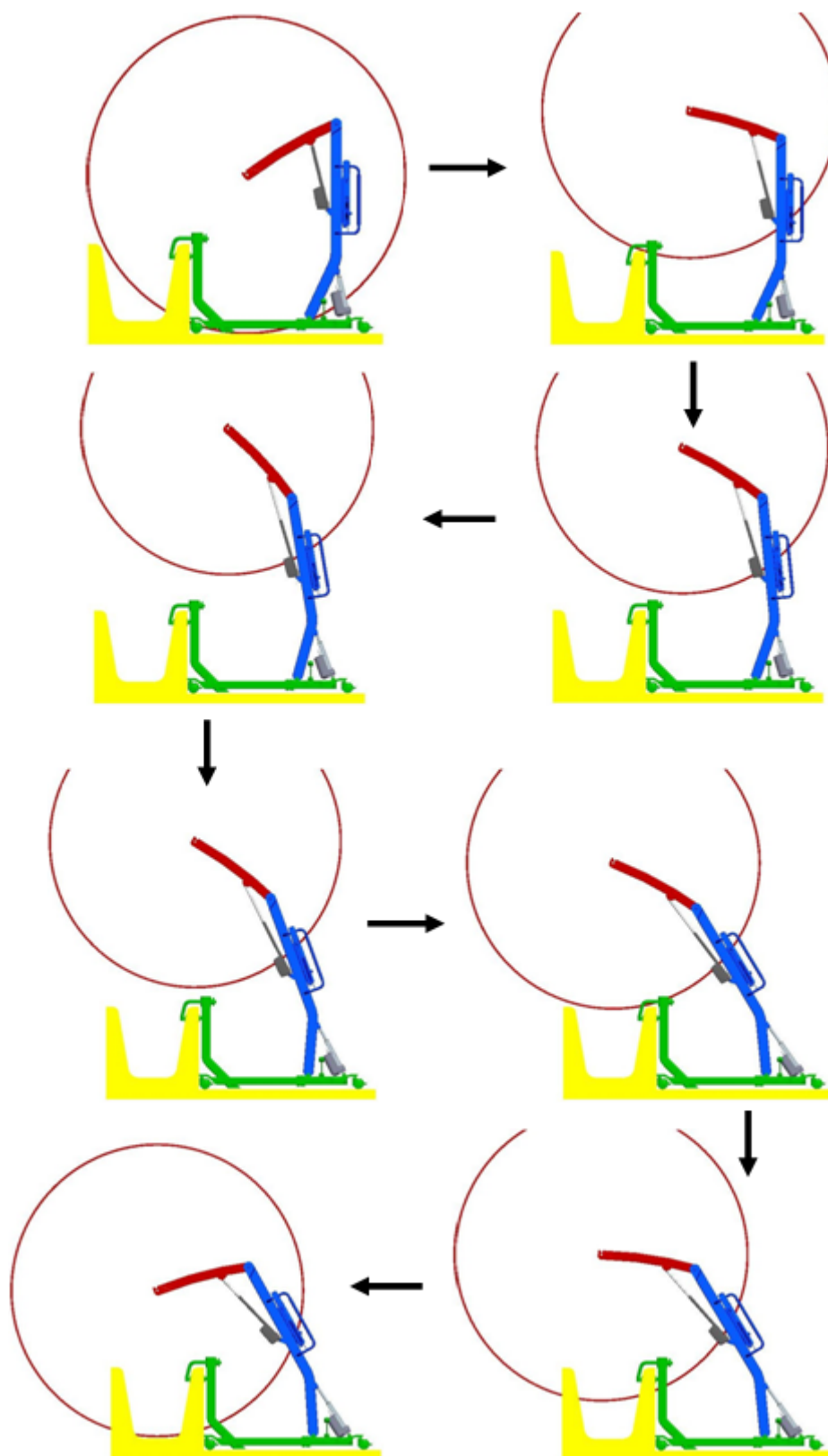


Obr. 64 - Nadefinování analýzy

Výsledkem dynamické analýzy je požadovaná redundance 0, síly v aktuátorech a síly mezi podvozkem a spodním ramenem, spodním a horním ramenem. Průběh a velikost sil je znázorněn v grafu 5. Maximální síla spodního aktuátoru je **7699,24 N** a horního **7194,6 N**. Z těchto sil budou zvoleny konkrétní typy aktuátorů. Maximální síla spodního kloubu má hodnotu 9016,21 N a horního kloubu 6138,13 N. Na obrázku 65 je graficky zobrazen průběh sil.



Graf 5 - Průběh sil



Obr. 65 - Průběh analýzy

6.5.2 Ruční ověření výsledků dynamické analýzy

Abychom mohli s výsledky průběhů sil pracovat dále a ověřili jejich správnost, je provedena ruční kontrola na horním rameni v čase analýzy 0 s. Schéma zatížení ramene (obr. 66) je oproti skutečnosti pootočeno tak, aby přímka spojující místo zatížené silou F a místo reakce B byla ve vodorovné poloze.

Zadané hodnoty

$$a = 919,5 \text{ mm}$$

$$b = 266 \text{ mm}$$

$$x = 459,8 \text{ mm}$$

$$\alpha = 29,9^\circ$$

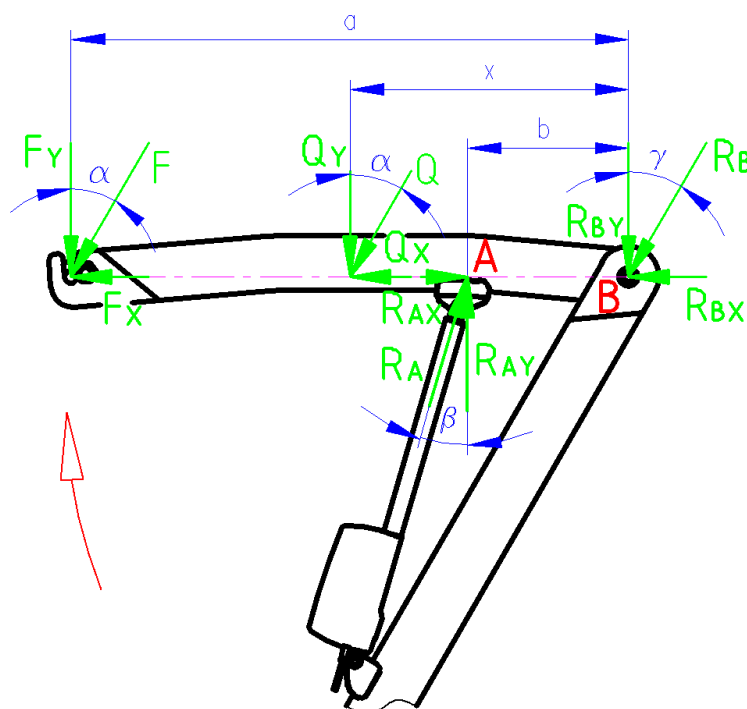
$$\beta = 16,3^\circ$$

$$m_{OM} = 120 \text{ kg}$$

$$m_{PS} = 15 \text{ kg}$$

$$m_{HR} = 3,57 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$



Obr. 66 - Zatížení horního ramene

Výpočet síly F v ose x a y :

$$F_y = \cos \alpha \cdot F = \cos 29,9^\circ \cdot 1324,25 = \underline{\underline{1147,89 \text{ N}}} \quad (11)$$

$$F_x = \sin \alpha \cdot F = \sin 29,9^\circ \cdot 1324,25 = \underline{\underline{660,29 \text{ N}}} \quad (12)$$

Výpočet síly Q z tíhy horního ramene:

$$Q = m_{HR} \cdot g = 3,57 \cdot 9,81 = \underline{\underline{35,02 \text{ N}}} \quad (13)$$

$$Q_Y = \cos \alpha \cdot Q = \cos 29,9^\circ \cdot 35,02 = \underline{\underline{30,36 \text{ N}}} \quad (14)$$

$$Q_X = \sin \alpha \cdot Q = \sin 29,9^\circ \cdot 35,02 = \underline{\underline{17,46 \text{ N}}} \quad (15)$$

Momentová podmínka v místě B:

$$\begin{aligned} M_B : 0 &= R_{AY} \cdot b - F_Y \cdot a - Q_Y \cdot x \Rightarrow R_{AY} = \frac{F_Y \cdot a + Q_Y \cdot x}{b} = \\ &= \frac{1147,89 \cdot 919,5 + 30,36 \cdot 459,8}{266} = \underline{\underline{4020,81 \text{ N}}} \end{aligned} \quad (16)$$

$$R_A = \frac{R_{AY}}{\cos \beta} = \frac{4020,81}{\cos 16,3^\circ} = \underline{\underline{4189,82 \text{ N}}} \quad (17)$$

$$R_{AX} = \sin \beta \cdot R_A = \sin 16,3^\circ \cdot 4189,82 = \underline{\underline{1178,00 \text{ N}}} \quad (18)$$

Rovnováha sil v ose y:

$$\begin{aligned} \sum F_{iy} : 0 &= R_{AY} - R_{BY} - F_Y - Q_Y \Rightarrow R_{BY} = R_{AY} - F_Y - Q_Y = \\ &= 4020,81 - 1147,89 - 30,36 = \underline{\underline{2842,56 \text{ N}}} \end{aligned} \quad (19)$$

Rovnováha v ose X:

$$\begin{aligned} \sum F_{ix} : 0 &= R_{AX} - R_{BX} - F_X - Q_X \Rightarrow R_{BX} = R_{AX} - F_X - Q_X = \\ &= 1178,00 - 660,29 - 17,46 = \underline{\underline{500,25 \text{ N}}} \end{aligned} \quad (20)$$

Výpočet reakce R_B:

$$R_B = \sqrt{R_{BY}^2 + R_{BX}^2} = \sqrt{2842,56^2 + 500,25^2} = \underline{\underline{2886,24 \text{ N}}} \quad (21)$$

Dopočtení úhlu reakce R_B:

$$\gamma = \arccos \frac{R_{BY}}{R_B} = \arccos \frac{2842,56}{2886,24} = \underline{\underline{9,98^\circ}} \quad (22)$$

Ruční výpočet je porovnán s výsledky analýzy v tabulce níže. Výsledky se liší řádově v Newtonech, což může být způsobeno zaokrouhlováním, nebo jinými nepřesnostmi v ručních výpočtech. Můžeme tedy výsledky dynamické analýzy považovat za důvěryhodné.

způsob výpočtu	síla v horním aktuátoru/ R_A	síla v horním kloubu/ R_B
Pro/ENGINEER	4200,68 N	2888,68 N
ruční	4189,82 N	2886,24 N
rozdíl	10,86 N	2,44 N

Tab. 23 - Porovnání výsledků sil horního ramene

6.5.3 Volba aktuátorů

Max. síla v dolním aktuátoru LA36 je 7699,24 N a v horním aktuátoru LA32 7194,6 N. Tyto hodnoty byly odečteny z grafu analýzy (graf 5). Na základě těchto hodnot mohou být použity předběžně zvolené aktuátory. Musí se jen zvolit vhodná konfigurace. Jsou tedy zvoleny aktuátory s objednacím číslem 36080200AH01BA-611F30400CSO zkráceně **LA36** [21] a horní aktuátor s oboj. Č. 3241PF-50400021 zkráceně **LA32** [22]. Také u dalších použitých komponentů firmy Linak budou používány zkrácené názvy.

Aktuátor LA36

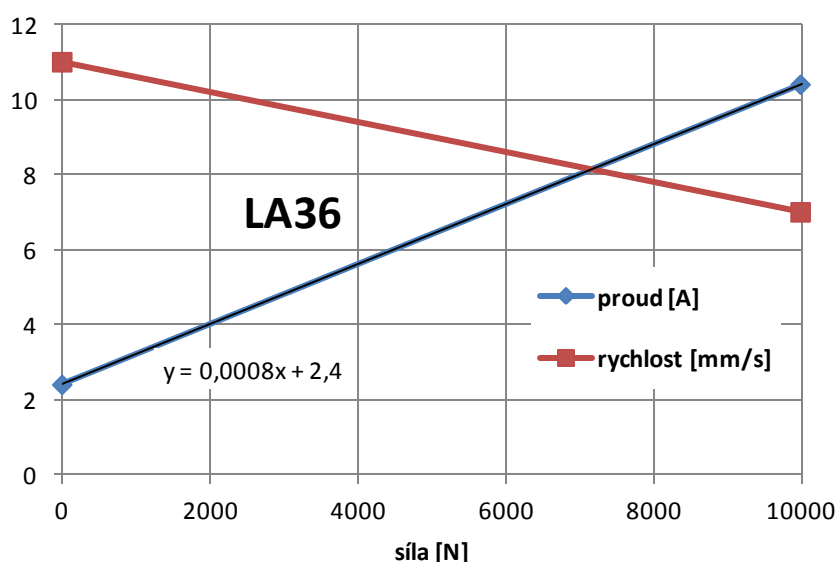
Parametry a charakteristika aktuátoru LA36 jsou uvedeny níže. Výhodou tohoto aktuátoru je schopnost pracovat s velkými silami nejen v tlaku, ale i tahu. Což je vhodné, z důvodu namáhání aktuátoru v tahu.



Obr. 67 - Aktuátor LA36

aktuátor LA36	
stoupání závitu	8 mm
maximální zatížení	10 000 N (tah/tlak)
délka zdvihu	200 mm
montážní délka	400 mm
rychlost zdvihu	7 – 11 (10 000 N – 0 N)
odběr proudu	10,4 – 2,4 A (10 000 N – 0 N)
hmotnost	5,5 kg
stupeň krytí	IPX6

Tab. 24 - Parametry aktuátoru LA36



Graf 6 - Charakteristika aktuátoru LA36

Aktuátor LA32

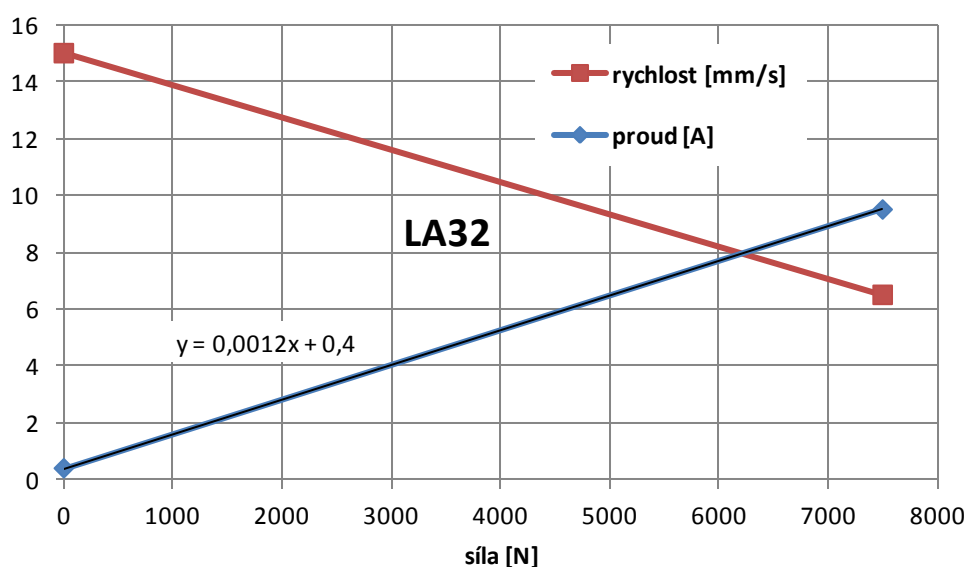
Tento aktuátor je možno používat pouze v tlaku. Oproti aktuátoru LA36, který disponuje brzdou, je navíc opatřen samosvornou maticí kuličkového šroubu.



Obr. 68 - Aktuátor LA32

aktuátor LA32	
stoupání závitu	4 mm
maximální zatížení	7500 N (tlak)
délka zdvihu	400 mm
montážní délka	610 mm
rychlost zdvihu	6,5 – 15 (7500 N – 0 N)
odběr proudu	9,5 – 0,4 A (7500 N – 0 N)
hmotnost	3,5 kg
stupeň krytí	IPX6

Tab. 25 - Parametry aktuátoru LA32



Graf 7 - Charakteristika aktuátoru LA32

6.5.4 Volba akumulátoru

Jelikož akumulátor BAJ [23] firmy Linak s kapacitou 2,9 Ah slouží k napájení jednoho aktuátoru pro zvedání a druhého (méně výkonného) pro roztahování ližin, bylo dospěno k závěru, že tato kapacita s ohledem na požadovaný počet a doby vložení a nebude stačit. Proto je vybrán akumulátor Optimum 2410 [24], který má kapacitu 10 Ah. Z obrázku lze vidět, že akumulátor je úzký a podlouhlý. Svými půdorysnými rozměry 90 x 55 mm se vejde do šasi akumulátoru BAJ, ale svou délkou 300 mm už ne. Proto je převzata konstrukce šasi a

rozměr výšky je zvětšen na vyhovující rozměr. K manipulátoru jsou dodávány vždy dva kusy těchto akumulátorů. Jeden akumulátor je na manipulátoru a druhý je v externí nabíječce. Ta je uvedena níže.



Obr. 69 - Akumulátor Optimum 2410 a šasi

akumulátor Optimum 2410	
napětí	24 V
kapacita	10 Ah
rozměry	300 x 90 x 55 mm
rozměry šasi akumulátoru	345 x 117 x 72 mm
hmotnost (celková)	4 kg (4,5 kg)
stupeň krytí šasi	IPX5

Tab. 26 - Parametry akumulátoru Optimum 2410

6.5.5 Určení počtu cyklů

Z grafu sil aktuátorů (graf 5) byly exportovány tabulky s těmito silami a vloženy do programu Microsoft Excel (příloha F). Ke každé síle v čase byl vypočten odběr proudu z rovnice regrese přímky definující odběr proudu v závislosti na zatížení udávaný výrobcem (kapitola 6.5.3, graf 6 a 7). Dosazením síly v aktuátoru za hodnotu X, získáme velikost proudu v daném čase.

Rovnice regrese přímky proudu aktuátoru LA36 a LA32:

$$y_{LA36} = 0,0008 \cdot X + 2,4 \quad (23)$$

$$y_{LA32} = 0,0012 \cdot X + 0,4 \quad (24)$$

V době, kdy aktuátor není v provozu, je přiřazen odběr proudu 0 A. Z těchto jednotlivých proudů v čase je vypočten průměr.

Zadané hodnoty

$$I_{LA36} = 5,89 \text{ A}$$

$$I_{LA32} = 6,30 \text{ A}$$

$$t_{LA36} = 0,0072 \text{ h}$$

$$t_{LA32} = 0,0183 \text{ h}$$

$$K = 10 \text{ Ah}$$

Výpočet odběru proudu aktuátorů:

$$\begin{aligned} O_{LA36} &= I_{LA36} \cdot t_{LA36} = 5,89 \cdot 0,0072 = \underline{\underline{0,0424 \text{ Ah}}} \\ O_{LA32} &= I_{LA32} \cdot t_{LA32} = 6,30 \cdot 0,0183 = \underline{\underline{0,1153 \text{ Ah}}} \end{aligned} \quad (25)$$

- Kde:
- I_{LA36} je průměrný odběr proudu aktuátoru LA36 (příloha F)
 - I_{LA32} je průměrný odběr proudu aktuátoru LA32 (příloha F)
 - t_{LA36} je doba provozu aktuátoru LA36 (příloha F)
 - t_{LA32} je doba provozu aktuátoru LA32 (příloha F)

Tyto dva odběry se sečtou a vynásobí dvěma, jelikož analýza neobsahuje pasáž s vyndáním pacienta z vany. Dostaneme tak celkový odběr proudu.

Celkový odběr proudu:

$$O_C = (O_{LA36} + O_{LA32}) \cdot 2 = (0,0424 + 0,1153) \cdot 2 = \underline{\underline{0,3154 \text{ Ah}}} \quad (26)$$

Následným vydělením kapacity akumulátoru celkovým odběrem dostaneme počet necelých 32 cyklů vložení-vyložení (27). Požadovaný počet je 20 cyklů. To je splněno s poměrně velkou rezervou.

Výpočet počtů cyklů:

$$C = \frac{K}{O_c} = \frac{10}{0,3154} = \underline{\underline{31,71}} \quad (27)$$

Kde: - K je kapacita akumulátoru

Ovšem musíme brát na zřetel, že skutečný odběr může být větší a také, že doba vkládání a vykládání závisí na zručnosti obsluhy manipulátoru.

Výpočet počtu cyklů na jedno nabytí, je proveden pro maximální zatížení manipulátoru 120 kg. Samozřejmě manipulátor nebude vždy zatížen touto tíhou, spíše naopak. Hodnota blíží se k této maximální zatěžující síle se bude vyskytovat sporadicky, proto předpokládáme navýšení počtu cyklů.

Manipulátor nemusí sloužit pouze pro vkládání pacientů do vany, ale také pro jejich zvedání ze země, vozíčků nebo lůžek. Při tomto zvedání je zapojen pouze horní aktuátor LA32 a po kratší dobu. Při dosazení do rovnic pro určení počtu cyklů se můžeme dostat na hodnoty ve stovkách zdvihů.

6.5.6 Volba řídicí jednotky, nabíječky a ovladače

Řídicí jednotka

Je vybrán kontrolbox s obj. č. CBJ1001NB111041 [25], na který se nasadí výše uvedený akumulátor. Tento kontrolbox je opatřen nouzovým tlačítkem STOP, signalizací stavu akumulátoru, funkcí měkkého startu a dojezdu a dalšími prvky, které zajišťují bezpečnost a pohodlí jak pacientů, tak i ošetřovatelů.



Obr. 70 - Kontrolbox CBJ

kontrolbox CBJ	
výstupní napětí	24 V
max. zapojení aktuátorů	2
rozměry	158 x 117 x 95 mm
hmotnost	1 kg
stupeň krytí	IPX6

Tab. 27 - Parametry kontrolboxu CBJ

Nabíječka

Aby bylo možné dobít akumulátor, je zakoupena nabíječka s obj. č. CHJ20000110A011 [26]. Nabíječka je umístěna na stěně na montážní liště. Je opatřena dvěma kontrolkami pro signalizaci připojení do elektrické sítě a pro nabíjení akumulátoru.



Obr. 71 - Nabíječka CHJ2

nabíječka CHJ2	
síťové napětí	100 – 240 V / 50 – 60 Hz
nabíjecí proud	650 mA
rozměry	167 x 135 x 75 mm
hmotnost	1 kg
stupeň krytí	IPX5

Tab. 28 - Parametry nabíječky CHJ2

Pro výpočet doby nabíjení akumulátoru výše uvedenou nabíječkou je použit následující vzorec (28).

Doba nabíjení akumulátoru:

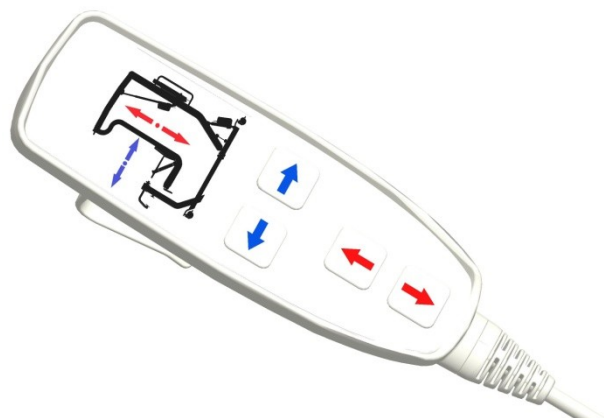
$$t = \frac{K}{I} = \frac{10}{0,65} = \underline{\underline{15,38 \text{ h}}} \quad (28)$$

Kde: - I je nabíjecí proud nabíječky

Doba nabíjení akumulátoru vyšla na 15,38 hodin. To je poměrně dlouhá doba a může být ještě větší, jelikož je zde více faktorů ovlivňujících dobíjení. Ale při vypočteném počtu cca. 32 cyklů vložení-vyložení pacienta se nepředpokládá, že by se akumulátor na manipulatoru za tuto dobu vybil.

Ovladač

Objednací číslo tohoto ovladače je 00HB821A-002 [27]. Tento ovladač lze upravit dle požadavků zákazníka na požadovanou konfiguraci.



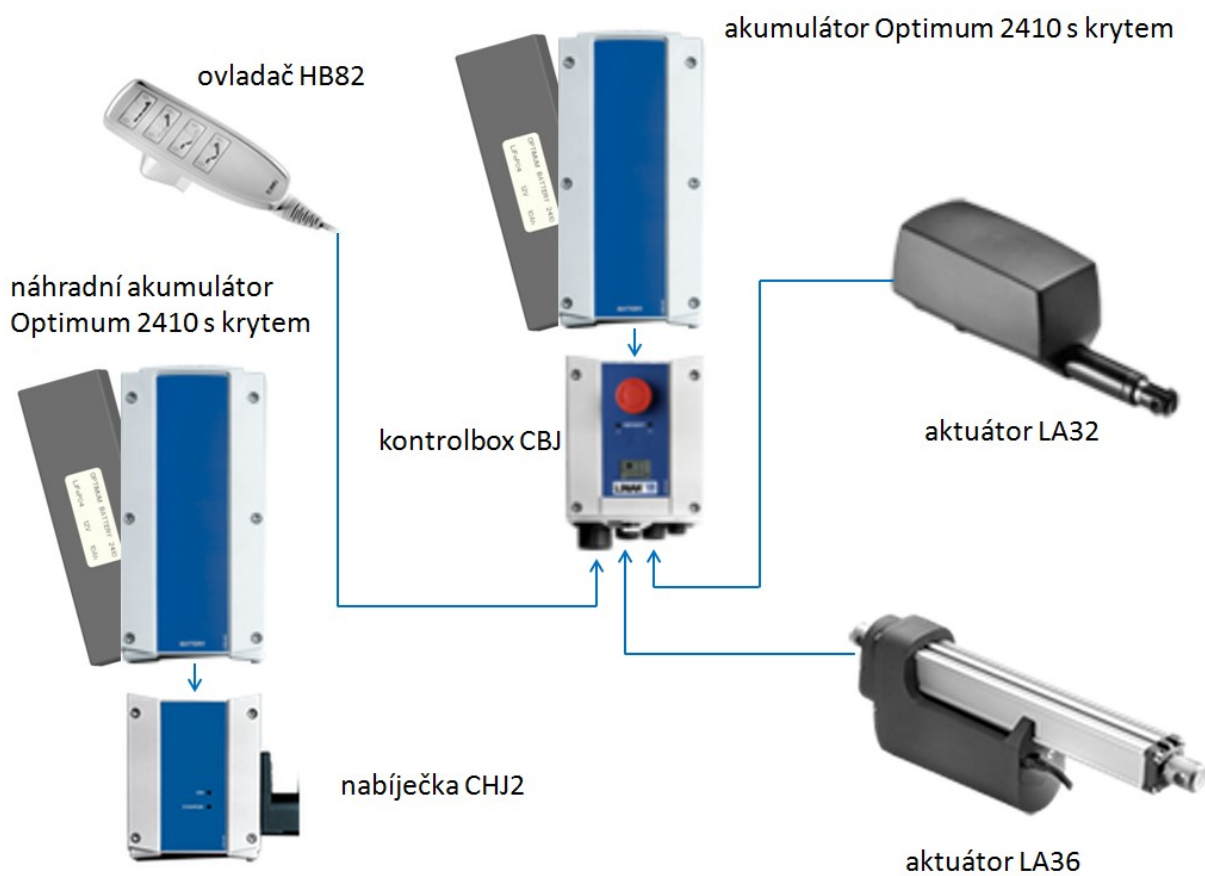
Obr. 72 - Ovladač HB82

ovladač HB82	
počet pohonů	až 6
řídící proud	max. 0,1 A/pohon
rozměry	170 x 63 x 52 mm
hmotnost	0,14 kg
stupeň krytí	IPX6

Tab. 29 - Parametry ovladače HB82

6.5.7 Schéma zapojení navrženého systému

Z výše uvedených komponentů bylo sestaveno jednoduché schéma zapojení.



Obr. 73 - Schéma zapojení navrženého systému

7 Ekonomické zhodnocení navrženého manipulátoru

Cílem kapitoly je odhadnout cenu navrženého manipulátoru. Ceny nakupovaných dílů jsou uvedeny dle ceníků jednotlivých firem. V případě zakoupení komponentů v zahraničí, nebo vytvoření cenové nabídky v cizí měně, byly ceny přepočteny dle přibližného kurzu ze dne 10. května 2012. Konkrétně se jedná o tyto měny EUR (evropské euro): 24,95 Kč, USD (americký dolar): 19 Kč, GBP (britská libra): 30,8 Kč. V cenách je zahrnuto DPH. Ceny a počty jednotlivých součástí jsou obsaženy v následující tabulce.

	název součásti	množství [ks]	jednotková cena [Kč]	celková cena [Kč]
nakupované součásti	kladka LGDA-PYA 100G-RA	4	1 580	6 320
	ovladač HB82	1	1 450	1 450
	kontrolbox CBJ	1	5 027	5 027
	nabíječka CHJ2	1	2 929	2 929
	aktuátor LA32	1	8 564	8 564
	aktuátor LA36	1	14 615	14 615
	montážní lišta MBJ	2	354	708
	akumulátor Optimum 2410	2	4 235	8 470
	zajišťovací prvky Elesa (pružinový píst,...)	-	-	320
	spojovací materiál (šrouby, matice,...)	-	-	1 200
	bezpečnostní pás AF006	1	770	770
	komponenty Hennlich (kluzná pouzdra, pružina)	-	-	1 840
vyráběné součásti (celky)	šasi akumulátoru	2	750	1 500
	ližina	2	7 000	14 000
	rám podvozku	1	10 000	10 000
	mechanismus roztažení ližin (páka, hřídel,...)	1	6 000	6 000
	spodní rameno	1	14 000	14 000
	madlo	2	2 000	4 000
	čepy	-	-	5 000
	horní rameno	1	12 000	12 000
	záslepky a krytky	-	-	2 000
	závěsný buben	1	5 000	5 000
	rám sedačky	1	10 000	10 000
	rameno uchopovacího mechanismu	2	2 000	4 000
	uchopovací mechanismus	2	8 000	16 000
	pevná sedačka (opěrky, teleskop,...)	1	15 000	15 000
Celková cena manipulátoru [Kč]				170 713

Tab. 30 - Návrh ceny manipulátoru

Přibližná cena manipulátoru je stanovena na 170 713 Kč (z toho nakupované součásti 52 213 Kč). Tato cena je pouze orientační. Ceny vyráběných součástí byly navrhovány s pomocí odborníka z praxe.

U tohoto konstrukčního celku se nepočítá s výrobou pouze jednoho kusu, ale s určitou sérií těchto výrobků. Dá se tedy logicky předpokládat, že se cena bude ze sériovostí snižovat.

8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout mobilní manipulátor s pevnou sedačkou, který by umožnil vkládání pacientů do vany.

Na začátku byl proveden průzkum trhu s manipulátory pro zvedání pacientů. Trh nabízí mnoho zvedáků podobných konstrukcí, nejčastější konstrukcí je podvozek s dvěma roztažitelnými ližinami, na kterém je umístěna manipulační nadstavba. Zvedání je pak realizováno elektrickým aktuátorem, který zvedá horní rameno, na kterém je umístěn pacient v látkovém vaku.

Následující kapitola řešerše se zabývá vanami pro ústavní péči. Tento trh je velmi rozmanitý. Nabízí různé druhy van od mobilních zvedacích lehátek pro koupání, přes vany s výřezy pro podjetí manipulátorem, až po klasické zděné vany. V kapitole jsou z průzkumu trhu van a manipulátorů nastíněny situace vkládání pacienta do různých typů van a jejich umístění. Jedná se o tyto situace: vana kolmo na stěnu bez patek, vana podélně se stěnou s patkami, vana kolmo na stěnu s patkami a vana podélně se stěnou bez patek. První tři situace umožňují vložení pacienta do vany manipulátory, uvedených v řešerši. Naopak poslední čtvrtá situace toto vložení neumožňuje. Návrh konstrukce manipulátoru bude zaměřen na vyřešení této situace. Samozřejmě musí umožnit vkládání pacientů do vany i pro ostatní situace.

Další kapitola v pořadí měla za cíl specifikovat požadavky kladené na zařízení. Byly vybrány požadavky jako nosnost (120 kg), hmotnost (max. 75 kg), průjezd dveřmi 1100 x 1970 mm nebo pohon (elektrický). Tyto požadavky musí být bezpodmínečně splněny.

Kapitola s názvem Varianty řešení pojízdného manipulátoru obsahuje čtyři konstrukční varianty řešení A, B, C a D. První varianta A je tvořena podvozkem (totožným pro varianty B a C) tvořeným pevným základem, roztažitelnými ližinami a mechanismem pro jejich roztažení. Na podvozku je umístěna manipulační nadstavba skládající se ze dvou lineárních vedení a jejich pohonů. Na konci horního lin. vedení je umístěna pevná sedačka. Převrácení manipulátoru je zajištěno opřením se o stěnu nad vanou. Druhá varianta se liší manipulační nadstavbou, která se skládá ze dvou ramen a dvou elektrických aktuátorů. Ty slouží k jejich naklápění. V zadní části podvozku je umístěná karabina a ta se upevní ke skobě umístěné na zemi. To zajistí stabilitu zvedáku. Varianta C je téměř totožná jako varianta B, s tím rozdílem, že stabilita manipulátoru je zajištěna dvojicí uchopovacích mechanismů, které sevrou stěnu vany. Poslední konstrukce varianty D je navržena na portálovém principu, kdy

jsou po stranách umístěny zvedací sloupky a mezi nimi je pevná sedačka uchycená na lineárním vedení. Manipulátor obstoupí vanu a jeho těžiště se nachází mezi koly podvozku, proto není třeba řešit bezpečnostní prvky proti převrácení.

V páté kapitole je pomocí hodnotové analýzy vybrána optimální varianta řešení. Pro varianty byly vybrány hodnotící kritéria jako např. hmotnost, rozměry, náklady nebo bezpečnost. Těmto kritériím byla přiřazena, pro každou variantu, jejich úroveň. Porovnáním v trojúhelníku párů se určil počet voleb, ze kterého byly vypočteny váhy významností kritérií. Z vah významností a úrovní kritérií, byly získány celkové součty vážených indexů každé varianty. Nejvíce vážených indexů získala varianta C, tato varianta je tedy považována za optimální.

Výsledná varianta byla navržena s rozměry (D x Š x V) 1550 x 800 x 1950 mm, hmotností 68,5 kg a nosností 120 kg. Nejdříve jsou popsány jednotlivé části podvozku jako pevný základ, ližiny a mechanismus roztažení ližin, u kterého je vypočtena a stanovena maximální potřebná síla (cca. 150 N) pro rozevření ližin (až 45°), kterou musí obsluha vyvinout nohou na pedál. Následně je ukázán princip funkce uchopovacího mechanismu, který sevřením stěny vany zajistí stabilitu zvedáku. Mechanismus je navržen pro tloušťky stěny vany 60 až 120 mm a výšku stěny vany 400 až 800 mm. Dále jsou podrobně popsány a znázorněny části navrženého manipulátoru jako manipulační nadstavba a pevná sedačka. Návrh pohonné a řídicí elektroniky vychází z dynamické analýzy, ze které vzešly síly působící na aktuátory. Tyto síly byly ověřeny ručním výpočtem. Maximální síla ve spodním aktuátoru je 7699,24 N a v horním 7194,6 N. Z těchto sil byly zvoleny konkrétní typy aktuátorů LA36 a LA32 firmy LINAK. Od této firmy je vybrána ostatní, kompatibilní elektronika jako kontrolbox, nabíječka nebo ruční ovladač. Akumulátor byl zvolen od výrobce Optimum s kapacitou 10 Ah, z důvodu nízké kapacity akumulátoru firmy Linak (2,9 Ah). Z kapacity akumulátoru a odběrů proudů aktuátorů (příloha F) je stanoven počet cyklů vkládání/vykládání na 31,7. K manipulátoru je dodáván druhý, náhradní akumulátor, aby se při vybití jednoho mohl použít okamžitě druhý. Při dobíjecím proudu nabíječky 0,65 A je doba potřebná k úplnému nabití akumulátoru stanovena na 15,38 h. Za tuto dobu se nepředpokládá, při vypočteném počtu cyklů vložení/vyložení, vybití akumulátoru.

Poslední kapitola má za cíl určit cenu navržené konstrukce manipulátoru. Ta je odhadnuta na 170 713 Kč. Navržená cena je oproti manipulátorům uvedených v průzkumu trhu poměrně vysoká, když přihlédneme k tomu, že jde již o prodejní ceny. Ale na druhou

stranu jedná se o úplně novou specifickou konstrukci, která není v současné době nabízená a cena se při sériové výrobě sníží.

Na tuto diplomovou práci může navázat práce, která by měla za cíl optimalizovat konstrukci nebo konstrukční části manipulátoru a docílit tak lepších vlastností a nižší ceny, aby byl manipulátor svou cenou konkurenceschopný na trhu zdravotnictví.

Práce je v závěru doložena přílohami, výkresovou dokumentací a CD nosičem s touto diplomovou prací. CD nosič je navíc doplněn o model optimální varianty a dynamickou analýzu.

9 Seznam použité literatury

- [1] Pavla Velinská, *BP: Analýza přístupností objektů osobám se zdravotním postižením v městské části Brno - Bystrc* [online]. Dostupné z www:
<http://is.muni.cz/th/63846/pedf_b/BP_Velinska.txt> [citováno 26. října 2011]
- [2] ETH, *zvedák KG HEKTOR*. Dostupné z www:
<<http://www.eth.cz/katalog.php?kat=4&podkat=23&co=alles>>
[citováno 26. října 2011]
- [3] Southwest Medical, *zvedák Liko Vikin S*. Dostupné z www:
<<http://www.southwestmedical.com/products/Liko-Viking-S-21690.html>>
[citováno 26. října 2011]
- [4] Medicco, *zvedák Oxford Stature*. Dostupné z www:
<<http://www.medicco.cz/index.php?page=15&podpage=47&p=1&detail=137>>
[citováno 26. října 2011]
- [5] Sivak, *zvedák Topaz - Avanti*. Dostupné z www:
<<http://www.sivak.cz/velkoobchod/clanky.php?id=34>> [citováno 26. října 2011]
- [6] Poschair Medical, *portálový zvedák*. Dostupné z www:
<<http://www.poschair.co.uk/Hoists/400KG-BARIATRIC-OVERHEAD-GANTRY-HOIST-/#.TqaZgEfjIXA>> [citováno 28. Října 2011]
- [7] Medist Chironax, *vana Alfa 50*. Dostupné z www:
<<http://www.mediset.cz/rehabilitace/vodolecba/vodolecba.htm>>
[citováno 26. října 2011]
- [8] Sivak, *vana 125 T*. Dostupné z www:
<<http://www.sivak.cz/velkoobchod/clanky.php?id=62>> [citováno 26. října 2011]
- [9] Sivak, *vana MURNAU*. Dostupné z www:
<<http://www.sivak.cz/sprchovaci-lehatko-murnau-133/>> [citováno 26. října 2011]
- [10] Orange Badge, *vana Henley*. Dostupné z www:
<http://www.orangebadge.co.uk/products/baths_wcs/henley/product.php>
[citováno 28. října 2011]

- [11] Living made easy, *vana Sanus*. Dostupné z www:
<http://www.livingmadeeasy.org.uk/personal%20care/height-adjustable-bathsp/sanus-height_adjustable-baths-0102007-527-information.htm>
[citováno 28. října 2011]
- [12] Stavby online, *rozměry dveří*. Dostupné z www:
<<http://www.stavba-online.cz/dvere/dvere-zasady-pro-navrhovani-dveri-v-budove/>>
[citováno 29. října 2011]
- [13] SKAŘUPA, J. *Metodika konstruování*, 1. Vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1933. 158 s. ISBN 80-7078-167-X
- [14] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 1. vydání. Praha: ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2
- [15] *Blickle, kladka LGDA-PYA 100G-RA*. Dostupné z www:
<<http://www.blickle.cz/produkte/LGDA-PUA-100G-RA.html>>
[citováno 20. dubna 2012]
- [16] *Hennlich, katalog produktů*. Dostupné z www:
<<http://www.hennlich.cz/produkty/vsechny-produkty.html>>
[citováno 25. dubna 2012]
- [17] *Elesa+GANTER, katalog produktů*. Dostupné z www:
<<http://www.elesa-ganter.com/cz/32/mnf2/produkty/eg/>>
[citováno 20. dubna 2012]
- [18] *Converter, valivý odpor*. Dostupné z www:
<<http://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>> [citováno 25. dubna 2012]
- [19] *Pohřebnické pomůcky, bezpečnostní pás*. Dostupné z www:
<<http://pohrebnickepomucky.cz/sortiment/prislusenstvi/spinaci-pasy-pro-nositka-kovova-letadlova-spona-af006/>> [citováno 29. dubna 2012]
- [20] *Linak, montážní lišta MBJ1*. Dostupné z www:
<<http://www.linak.cz/products/Accessories.aspx?product=MBJ>>
[citováno 28. dubna 2012]
- [21] *Linak, aktuátor LA36*. Dostupné z www:
<<http://www.linak.cz/products/Linear-Actuators.aspx?product=LA36>>
[citováno 28. dubna 2012]

- [22] *Linak, aktuátor LA32*. Dostupné z [www](http://www.linak.cz/products/Linear-Actuators.aspx?product=LA32):
<<http://www.linak.cz/products/Linear-Actuators.aspx?product=LA32>>
[citováno 28. dubna 2012]
- [23] *Linak, akumulátor BAJ*. Dostupné z [www](http://www.linak.cz/products/Accessories.aspx?product=BAJ):
<<http://www.linak.cz/products/Accessories.aspx?product=BAJ>>
[citováno 28. dubna 2012]
- [24] *Optimum, akumulátor Optimum 2410*. Dostupné z [www](http://www.lifepo4rechargeablebattery.com/china-24v_10ah_lifepo4_rechargeable_battery_for_e_bicycle-292821.html):
<http://www.lifepo4rechargeablebattery.com/china-24v_10ah_lifepo4_rechargeable_battery_for_e_bicycle-292821.html> [citováno 28. dubna 2012]
- [25] *Linak, kontrolbox CBJ*. Dostupné z [www](http://www.linak.cz/products/Control-Boxes.aspx?product=CBJ):
<<http://www.linak.cz/products/Control-Boxes.aspx?product=CBJ>>
[citováno 28. dubna 2012]
- [26] *Linak, nabíječka CHJ2* . Dostupné z [www](http://www.linak.cz/products/Accessories.aspx?product=CHJ2):
<<http://www.linak.cz/products/Accessories.aspx?product=CHJ2>>
[citováno 28. dubna 2012]
- [27] *Linak, ovladač HB82* . Dostupné z [www](http://www.linak.cz/products/Controls.aspx?product=HB80):
<<http://www.linak.cz/products/Controls.aspx?product=HB80>>
[citováno 28. dubna 2012]

10 Seznam příloh

Příloha A: Určení úrovně jednotlivých kritérií (4 listy)

Příloha B: Postup vkládání pacienta do vany varianty A (2 listy)

Příloha C: Postup vkládání pacienta do vany varianty B (2 listy)

Příloha D: Postup vkládání pacienta do vany varianty C (2 listy)

Příloha E: Postup vkládání pacienta do vany varianty D (2 listy)

Příloha F: Odběr proudů aktuátorů (Excel)

Příloha G: Obrázky 3D modelu manipulátoru (6 listů)

Sestavný výkres POJÍZDNÝ MANIPULÁTOR: ROL025-DP-01 (AutoCAD, A0)

Výkres podsestavy PODVOZEK MANIPULÁTORU: ROL025-DP-01.01 (AutoCAD, A1)

Výkres podsestavy PEVNÁ SEDAČKA: ROL025-DP-01.02 (AutoCAD, A1)

Výkres podsestavy MANIPULAČNÍ NADSTAVBA ROL025-DP-01.03 (AutoCAD, A1)

Výkres podsestavy UCHOPOVACÍ MECHANISMUS ROL025-DP-01.04 (AutoCAD, A2)

CD-ROM: Rolný B. *Diplomová práce 2012*

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce prof. Dr. Ing. Vladimíru Mostýnovi za jeho rady, konzultace a vedení po dobu zpracování této práce. Také chci poděkovat všem těm, kteří mi jakkoli pomohli při řešení diplomové práce.